

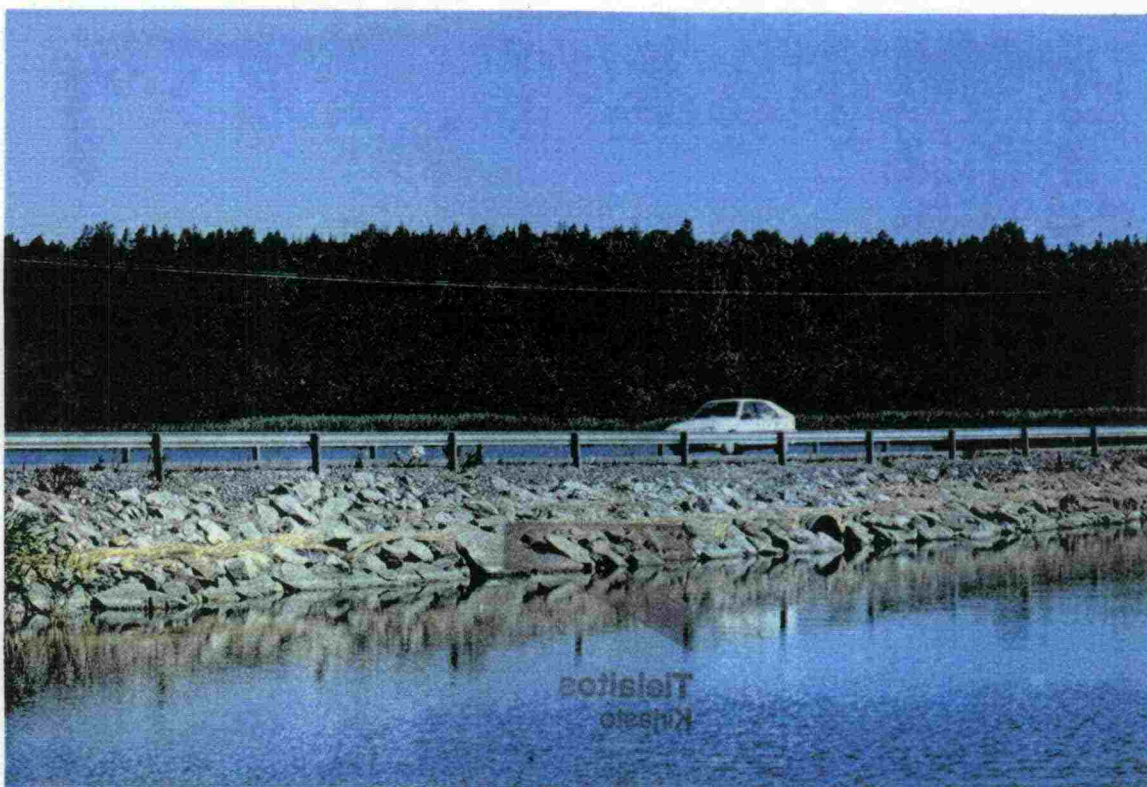
940271



Tielaitos

Turun tiepiiri

**VESISTÖPENKEREIDEN
YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI 2**
VUOSINA 1991-1992



Kai Aulio

Turku 1992

Dokkoo:
Nidenn:

08 TIEH / TUR

08 TIEL/TUR

145042



Tielaitos
Kirjasto

Doknro: 940146
Nidenro: 940271

08 TIEL/TUR

Vesistöpenkereiden ympäristövaikutusten arviointi

Kai Aulio

SISÄLLYS

Johdanto	2
Tutkimuksen osat ja tutkimusmenetelmät	2
Tulokset ja tulosten tarkastelu	3
(1) Pirtinpuhdin penger; Uusikaupunki	3
(2) Kuusistonrauman penger; Taivassalo	7
(3) Gammelvikin-Bredvikin penger; Nauvo	11
(4) Korsfjärdin penger; Nauvo	15
(5) Stora Masugträsket'in-Lämmokärret'in penger; Taalintehdas	19
Yhteenveto ja toimenpidesuositukset	23
Kirjallisuus	27

Turku 1992

Johdanto

Pengerteiden rakentaminen muuttaa vesistöjen virtausoloja sekä aallokon ja jään kulutustoimintaa. Heikentyneen virtauksen ja/tai kulutuksen seurauksena on usein vesistön mataloituminen ja luontaisen maatumis-kehityksen nopeutuminen. Seurauksena saattaa olla vesialueen luonnonolojen muutos, joka vaikuttaa eläin- ja kasvilajistoon sekä veden syvyys-suhteisiin.

Turun tiepiirin alueelta tutkittiin kesällä 1992 viisi pengerosuutta, joiden ympäristöoloja arvioidaan kasvillisuus- ja pohjasedimentti-selvityksellä. Tiepiiri valitsi seurantakohteiksi seuraavat penkereet:

1. Pirtinpuhdin penger; Uusikaupunki
2. Kuusistonrauman penger; Taivassalo
3. Gammelvikin-Bredvikin penger; Nauvo
4. Korsfjärdin penger; Nauvo
5. Stora Masugträsk'in-Lämmökärret'in penger; Taalintehdas

Jokaisen viiden tutkitun pengertien vaikutuspiirissä toteutettiin kolme osaselvitystä.

Käsillä olevassa kirjoituksessa tarkastellaan lisäksi kesällä 1991 samoin menetelmin toteutetun pengerkartoituksen (Aulio 1991) tuloksia ja annetaan toimenpidesuosituksia myös kesän 1991 kuudelle pengerosuudelle.

Tutkimuksen osat ja tutkimusmenetelmät

(1) Vesi- ja rantakasvillisuuden lajisto

Kunkin viiden pengerkohteen vaikutuspiirissä analysoitiin kasvilajisto luettelomalla havaitut vesi- ja rantakasvilajit. Lajiston perusteella arvioidaan penkereiden aiheuttamia muutoksia erottamalla kustakin kohteesta kasvilajit seuraaviin indikaattoriryhmiin:

- (1.1.) rehevöitymisen, runsasravinteisuuden osoittajat/
niukkaravinteisuuden osoittajat
- (1.2.) pehmeän pohjan ilmentäjät/kovan pohjan ilmentäjät
- (1.3.) runsashappisuutta vaativat lajit/rehevöityneessä, vähähappisessa vedessä viihtyvät lajit

Vesikasvillisuuden lajistoanalyysien perusteet ja tulosten tulkinta ovat Suomessa vakiintuneet (Toivonen 1984; Niemi 1990; Lampolahti 1991). Yksittäisen kasvupaikan vesikasvilajistoon vaikuttavat niin monet fysikaalis-

kemialliset ympäristötekijät, ettei jonkin lajin esiintymisen tai puuttumisen perusteella voi tehdä yksiselitteisiä johtopäätöksiä kasvupaikan ominaisuuksista. Yleensä vesikasvilajiston katsotaan heijastavan enemmän rantavyöhykkeen ominaisuuksia kuin alueen ulappavesien tilaa (vrt. Toivonen 1984).

(2) Järviruokokasvustojen biometriset mittaukset

Matalissa rantavesissä tyypillisen järviruo'on (*Phragmites australis*) kasvustojen ominaisuudet muuttuvat veden liikkeiden/eroosion muutosten ja rehevöitymiskehityksen kuluessa (Aulio & Aulio, 1989).

Kultakin pengerkohteelta ja näiden vertailualueilta tehtiin ruokokasvustojen tiheyden ja versoston koon/massan mittaukset vakiintunein menetelmin (vrt. Aulio & Aulio 1989; Niemi 1990). Ilmaversois-kasvillisuuden määritykset tehtiin kasvukauden lopulla kasvustojen saavutettua maksimibiomassansa.

(3) Pohjan laadun selvitykset

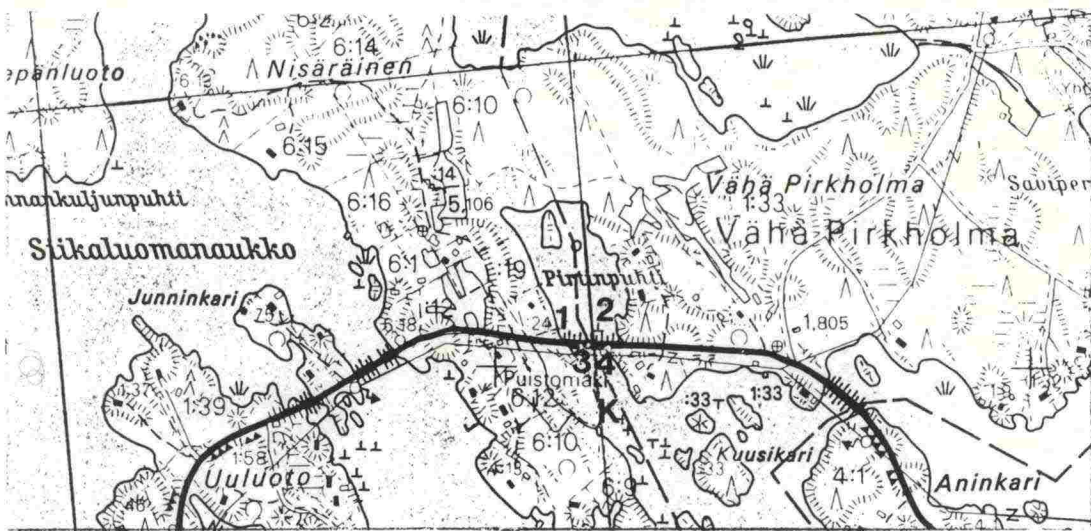
Pengerteiden aiheuttama veden liikkeiden estyminen tehostaa sekä mineraaliaineksen että matalan rantavyöhykkeen kasvillisuuden orgaanisen karikkeen kerrostumista. Kesän 1992 selvityksissä kerättiin sedimenttinäytteet kunkin pengertien läheisyydestä erilaisilta eroosio- ja kulutus-rannoilta sekä ruokokasvustojen keskeltä.

Pohjanäytteistä analysoitiin orgaanisen aineksen pitoisuus (**Hh**), jonka perusteella voidaan arvioida kerrostumisprosessin nopeutta ja penkereen vaikutusta maatumisen kiihdyttäjänä (vrt. Aulio & Aulio 1989) sekä sedimentin kiinteys (**Hj**; sedimentin painon ja tilavuuden suhde, vrt. Häkkilä, Aulio & Saario 1986).

TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

1. Pirtinpuhdin penger; Uusikaupunki

Uudenkaupungin makeavesialtaan eteläreunan saarten välille rakennettu tieyhteys sulkee Pirtinpuhdin lahden (Kuva 1) yhteyden merivedestä. Pengertien itäpäähän on rakennettu vedenvaihtoa turvaava noin metrin levyinen putkiyhteys lahdesta mereen.



Kuva 1. Pirtinpuhdin tiepenger sekä kesän 1992 näytteenottoalueiden sijainti.

Penger estää meren aallokon ja jään toiminnan Pirtinpuhdissa, mikä edistää suljetun pikkulahden maatumista rantakasvillisuuden kerrostuessa kasvupaikoilleen. Puhdin kallio- ja kivikkorannat estävät kevyen orgaanisen aineksen sedimentaatiota. Vähäisestä mekaanisesta kulutuksesta huolimatta rehevöityminen ja maatuminen ovat siksi hitaampia kuin rannikon suljetuissa lahdissa yleensä. Virtausrummun kautta tapahtuva vedenvaihto on niin tehokas, että puhdin vesi säilyy murtovetenä.

Kasvillisuusyhdyskunnat pengertien varrella

Pengertien rakentaminen ei ole mitenkään muuttanut Pirtinpuhdin kasvillisuutta, joka on alueelle tyypillistä murtoveden lajistoa. Sekä siemenkasvien että murtoveden levien lajisto ja määräsuhteet ovat samanlaiset tiepenkereen molemmilla puolilla. Tutkimusalueen luonnontilaisuutta osoittaa ainoastaan puhtaassa ja happipitoisessa ympäristössä tavattavien lajien, mm. ruskoärviän (*Myriophyllum alterniflorum*) ja hapsiluikan (*Eleocharis acicularis*) runsaus Pirtinpuhdissa sekä penkereen ulkopuolisessa meressä. Pengertien ympäristön "terveyttä" osoittaa myös rakkolevän (*Fucus vesiculosus*) menestyminen penkereen edustalla.

Taulukko 1.1. Lajistoa Uudenkaupungin Pirtinpuhdin pengertien vaikutuspiirissä

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Ahvenvita (<i>Potamogeton perfoliatus</i>)	+/-	+	+/-
Hapsivita (<i>Potamogeton pectinatus</i>)	+/-	-	+/-
Tähkä-ärviä (<i>Myriophyllum spicatum</i>)	+/-	+/-	+/-
Ruskoärviä (<i>Myriophyllum alterniflorum</i>)	-	-	-
Karvalehti (<i>Ceratophyllum demersum</i>)	+	+/-	+/-
Putkilevä (<i>Enteromorpha intestinalis</i>)	+	-	+
Rakkolevä (<i>Fucus vesiculosus</i>)	-	-	-
Ahdinparta (<i>Cladophora glomerata</i>)	+/-	-	+/-
Hapsiluikka (<i>Eleocharis acicularis</i>)	-	-	-

Pengertien reunoilla kasvoi kesällä 1992 voimakas putkilevän (*Enteromorpha intestinalis*) kasvusto, joka osoittaa merialueen ja samalla lahden ravinteisuutta. Levämassat eivät kuitenkaan olleet suurempia kuin rehevöityneeksi luokitellulla Uudenkaupungin rannikkoalueella keskimäärin.

Ainoana todellisena kulttuurieutrofian, ihmisen aiheuttaman rehevöitymisen osoittajana tutkimusalueella tavattiin karvalehti (*Ceratophyllum demersum*), juureton irtokelluja, joka ottaa kasvunsa vaatimat ravinteet suoraan vedestä. Lajin esiintyminen Pirtinpuhdin penkereen molemmilla puolilla ei kuitenkaan johdu tiepenkereen rehevöittävästä vaikutuksesta, vaan pikemminkin paikallisen teollisuuden kuormituksesta johtuvista meriveden korkeista fosforipitoisuuksista.

Pengertien läpäisevä virtausrumpu pitää puhdin mereisenä. Lahdessa kasvavat kaikki murtovesilajit, jotka tavattiin tiepenkereen ulkopuoliselta rantavyöhykkeeltä. Suolaisen veden lajistoon kuuluu lisäksi puhdissa kasvava *Chara*-näkinpartaislevä, joka hyötyy lahden suojaisuudesta.

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Pirtinpuhdin pengertien tuntumassa kasvavat järviruo'on (*Phragmites australis*) kasvustot ovat pienialaisia, tyypillisiä varhaisen sukkessiokehityksen yhdyskuntia, joita luonnehtii erittäin suuri versoston tiheys (vrt. Aulio & Aulio 1989). Suuren yksilömäärän seurauksena myös maanpäällisen biomassan vuotuinen tuotos on korkea. Suurituottoisimman (piste 2; Taulukko 1.2.) kasvuston tiheys ja versostobiomassan määrä ovatkin noin kaksi kertaa lounaisen merenrannikon vastaavia normaalikasvustoja korkeammat.

Taulukko 1.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Uudenkaupungin Pirtinpuhdin penkereen varrella kesällä 1992.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	30	305	169	1297
2	28	337	202	2043
3	33	200	206	1308
4 (kasviton)	58
K	41	156	194	1233

Meren kuluttavan toiminnan estyminen tehostaa Pirtinpuhdissa kasvavan biomassan kerrostumista kasvupaikoilleen. Karikkeen ja ruokoturpeen kerrostuminen onkin nostanut pohjan orgaanisen aineksen pitoisuuden lahden sisäpuolella 10-20 prosenttia korkeammaksi kuin merenpuoleisissa ruokokasvustoissa (Taulukko 1.3). Orgaanisen massan kerrostuminen ei kuitenkaan aiheuta hapen vajausta ja sitä kautta ekologista haittaa pohjaeläimistölle, koska pengertien alittava vedenvaihtorumpu tuo puhtiin riittävästi happipitoista vettä.

Lisäksi puhdin sijainti avoimen meren äärellä sallii tuulen ja aallokon toiminnan, joka sekoittaa lahden vettä pitäen myös pohjanalaiset

kerrokset happipitoisina. Ruokoyhdyskuntien vuosittainen pinta-alan levittäytyminen heikentää kuitenkin jatkuvasti alueen muun eliöstön toimeentulomahdollisuuksia. Kun ruo'ikot ovat kasvaneet aarien laajuisiksi, kasvustojen sisäosiin syntyy väistämättä ainakin kasvukauden lopulla hapettomia pohja-alueita.

Taulukko 1.3. Uudenkaupungin Pirtinpuhdin penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1992.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	42.3 %	0.12
2	50.5 %	0.27
3	32.5 %	0.32
4	1.5 %	1.43
K	23.7 %	0.41

Tulosten tarkastelua

Pirtinpuhdin pengertien ekologiset ja lahden maatumista edistävät vaikutukset ovat hyvin vähäisiä. Penkereen itäpäähän tehty rumpu hoitaa lahden vedenvaihdon riittävän tehokkaasti yhdessä tuulen suorittaman liikkeen kanssa.

Pidemmällä aikavälillä aallokon ja jään kulutustyön heikkeneminen tosin johtaa ruokoyhdyskuntien voimistumiseen tavalla, joka lisää mm. happikatoja ja nopeuttaa matalien rantojen umpeenkasvua. Lähivuosien tähtäimellä **voidaan Pirtinpuhdin penkereen nykyisen rumpuyhteyden tarjoamaa vedenvaihtoa pitää riittävänä.**

2. Kuusistonrauman penger; Taivassalo

Taivassalo-Kustavi -tielle rakennettu penger (Kuva 2) katkaisee vapaan vedenvaihdon Kuusistonrauman salmessa. Noin kolmimetrinen rumpu huolehtii kuitenkin veden virtauksesta penkereen läpi. Kiinteä maayhteys on aiheuttanut vain vähäisiä muutoksia alueen ympäristöolosuhteissa. Suurin maisemassa näkyvä muutos on penkereen

itäreunalla sijaitsevan järviruokokasvuston leviäminen keskimääräistä nopeammin ja tavallista rehevämmäksi.



Kuva 2. Taivassalon Kuusistonrauman pengerr sekä kesän 1992 näytealueiden sijainti.

Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella

Tiepenkereen virtausrummun ylläpitämä virtaus pitää Kuusistonrauman vesialueen luonnontilaisena, eikä vesistörakentamisen seurauksena nopeutuvaa rehevöitymistä lainkaan havaita. Penkereen tuntumassa kasvava lajisto onkin länsirannikon avoimille rannoille tyypillistä.

Yhtään rehevöitymisestä tai ihmisen toiminnasta aiheutuvasta muutoksesta osoittavaa indikaattorilajia ei Taivassalon penkereen tuntumassa tavata. Vain puhtailla luonnontilaisilla paikoilla tavattavat lajit ruskoärviä (*Myriophyllum alterniflorum*), hapsiluikka (*Eleocharis acicularis*) ja rakkolevä (*Fucus vesiculosus*) osoittavat, ettei penkereen lähiympäristö ole vesistörakentamisesta kärsinyt.

Taulukko 2.1. Lajistoa Taivassalon Kuusistonrauman pengertien vaikutuspiirissä.

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Ahvenvita (<i>Potamogeton perfoliatus</i>)	+/-	+	+/-
Hapsivita (<i>Potamogeton pectinatus</i>)	+/-	-	+/-
Merisätkin (<i>Ranunculus baudotii</i>)	+/-	-	-
Tähkä-ärviä (<i>Myriophyllum spicatum</i>)	+/-	+/-	+/-
Ruskoärviä (<i>Myriophyllum alterniflorum</i>)	-	-	-
Putkilevä (<i>Enteromorpha intestinalis</i>)	+	-	+
Rakkolevä (<i>Fucus vesiculosus</i>)	-	-	-
Ahdinparta (<i>Cladophora glomerata</i>)	+/-	-	+/-
Hapsiluikka (<i>Eleocharis acicularis</i>)	-	-	-

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Kuusistonrauman tiepenkereen reunoilta tutkittujen ruokokasvustojen tiheydet, versojen keskikoot ja maanpäällisen biomassan arvot ovat kesän 1992 tutkimuksen alhaisimmat. Taulukon 2.2. luvut ovat länsirannikon ruokoyhdyskunnille tyypillisiä arvoja. Penkereen lähellä kasvavat yhdyskunnat hyötyvät maayhteyden tuomasta suojasta, joka estää aallokon ja jään kuluttavaa toimintaa sekä tehostaa ravinteita pidättävän orgaanisen karikkeen kerrostumista kasvustoihin. Penkereeseen rajoittuvat kasvustot ovatkin jonkin verran tuottoisampia kuin muutamat kymmeniä metrejä penkereen ulkopuolella sijaitsevassa kasvustossa (piste 5) tai alueen tausta-arvoja kuvaavalla kontrollialueella (Taulukko 2.2.).

Tiepenkereen vaikutus on havaittavissa ainoastaan penkereen itärannalla, jossa ruokovyö on leveämpi kuin tämän merialueen saarten rannoilla yleensä.

Järviruo'on suuri biomassan tuotanto ja ruokoyhdyskuntien aiheuttama virtailun heikkeneminen tehostavat orgaanisen karikkeen ja ruoko-turpeen kerrostumista penkereen itäreunan kasvustoihin (pisteet 1 ja 2; Taulukko 2.3). Avoimen meren äärellä olevissa kasvustoissa on kuitenkin niin tehokas aaltojen aiheuttama virtaus, ettei orgaaninen aineksen hajoaminen heikennä pohjan läheisten kerrosten happitilannetta kuuminaakaan kesinä.

Taulukko 2.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Taivassalon Kuusistonrauman penkereen varrella kesällä 1992.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	19	115	243	1146
2	21	117	236	1070
3	15	106	225	1002
4	17	95	244	1015
5 (ulkona)	54	109	186	988
K	30	131	208	982

Taulukko 2.3. Taivassalon Kuusistonrauman penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1992.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	51.5 %	0.21
2	43.3 %	0.27
3	31.1 %	0.30
4	38.0 %	0.29

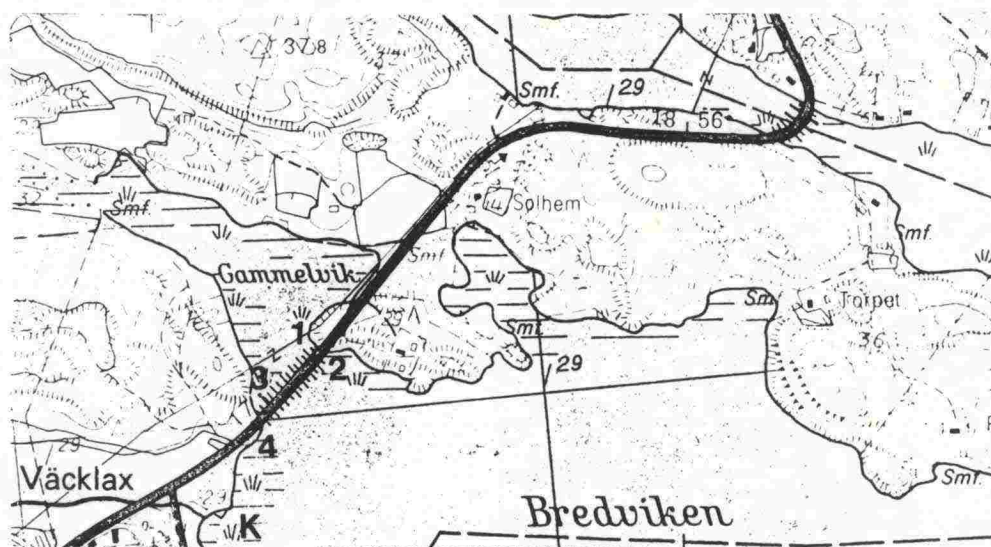
Tulosten tarkastelua

Taivassalon Kuusistonrauman tiepenkereen virtausrumpu on ainakin kesän 1992 tutkimuksen perusteella riittävän tehokas huolehtimaan vedenvaihdosta penkereen läpi. Ekologiset olosuhteet, vesi- ja rantakasvillisuuden lajisto sekä rantavyöhykkeen järviruokokasvustot ovat alueen merenrannikoille tyypillisiä. Mittauksin todettu ja maisemassakin näkyvä ruoko-yhdyskuntien voimistuminen reunoilla on tosin vesistörakentamisen aiheuttamaa, mutta muutosta ei voida pitää ekologisena tai vesistön käyttöarvoa alentavana haittana.

Kesän 1992 tutkimuksen perusteella **Kuusistonrauman pengertiehen ei tarvita nykyistä virtausrumpua tehokkaampaa veden vaihtoa.**

3. Gammelvik-Bredviken -penger; Nauvo

Nauvon kirkonkylän lounaispuolella sijaitsevan Bredviken'in jatke, Gammelvik (Kuva 3), eristyy Nauvon-Korppoon tielle rakennetun penkereen ansiosta hyvin tehokkaasti merenlahdesta. Tien patovaikutus ei kuitenkaan ole täydellinen, sillä penkereessä on vedenvaihdon mahdollistava rumpu. Rummusta huolimatta pengertie heikentää merkittävästi murtoveden pääsyä lahteen, mikä näkyy merikasvillisuuden taantumisena sekä rannan järviruokokasvustojen voimistumisena Gammelvik-lahdessa verrattuna tiepenkereen meren puolella tavattaviin yhdyskuntiin.



Kuva 3. Nauvon Gammelvikin-Bredvikin penger sekä kesän 1992 näytealueiden sijainti.

Kasvillisuusyhdyskunnat pengertien varrella

Gammelvikin penkereen meren puolella tavattava kasvillisuus on tyypillistä lounaissaariston puhtaan ekosysteemin lajistoa. Rehevyyden osoittajina tunnettujen putkilevän (*Enteromorpha intestinalis*) ja ahdinparran (*Cladophora glomerata*) biomassat olivat tutkimusajankohtana alhaiset, joten rehevöitymistä ei tämän perusteella esiinny.

Taulukko 3.1. Lajistoa Nauvon Gammelvikin-Bredvikin pengertien vaikutuspii

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Hapsivita			
(<i>Potamogeton pectinatus</i>)	+/-	-	+/-
Ahvenvita			
(<i>Potamogeton perfoliatus</i>)	+/-	+	+/-
Tähkä-ärviä			
(<i>Myriophyllum spicatum</i>)	+/-	+/-	+/-
Putkilevä			
(<i>Enteromorpha intestinalis</i>)	+	-	+
Rakkolevä			
(<i>Fucus vesiculosus</i>)	-	-	-
Ahdinparta			
(<i>Cladophora glomerata</i>)	+/-	-	+/-

Pengertien vaikutus ilmenee Gammelvik-lahdessa murtovesilajiston vähäisyytenä. Alueelle tyypillisistä merilajeista lahdesta puuttuvat rakkolevä (*Fucus vesiculosus*), *Chorda filum*-ruskolevä, ja myös tavallisimman kukkakasvin, hapsividan (*Potamogeton pectinatus*) kasvusto rajoittuu vain virtausrummun suulle.

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Gammelvikin ja pengeritien merenpuoleisen reunan järviruokokasvustot ovat kaikki tiheämpiä ja runsastuottoisampia kuin lounaissaariston ja -rannikon yhdyskunnat keskimäärin. Ruo'ikot ovat tyypillisiä sukkessiokehityksen alkuvaiheen yhdyskuntia, joissa laji vakiinnuttaa asemaansa ekosysteemissä suurella tuotannolla ja "aggressiivisellä"

kasvullisella leviämisellä (mm. Aulio & Aulio 1989).

Tutkitun tiepenkereen vaikutus näkyy kasvustoja voimistavana tekijänä Gammelvikin sisäpuolella, jossa ruokoyhdyskunnat ovat tiheämpiä ja versostobiomassan arvot ovat suurempia kuin penkereen merenpuoleisella reunustalla (Taulukko 3.2).

Järviruo'on suuri tuottavuus yhdessä tiepenkereen estämän vedenvaihdon ja eroosion kanssa johtaa siihen, että Gammelvikin lahdessa tuotettu orgaaninen massa kerrostuu kasvupaikoille. Lahden sisäosien kasvustojen pohjasedimentit ovatkin ruokoturvetta, jossa orgaanisen aineksen pitoisuus on poikkeuksellisen korkea (Taulukko 3.3). Eloperäisen aineksen hajotus heikentää loppukesän happitilannetta pohjakerrostumissa aiheuttaen ainakin lyhytaikaisia happikatoja.

Taulukko 3.2. Järviruo'okasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Nauvon Gammelvikin-Bredvikin penkereen varrella kesällä 1992.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	19	244	231	1824
2	12	255	215	1675
3	20	301	224	2456
4	10	145	257	1733
K	15	178	235	1407

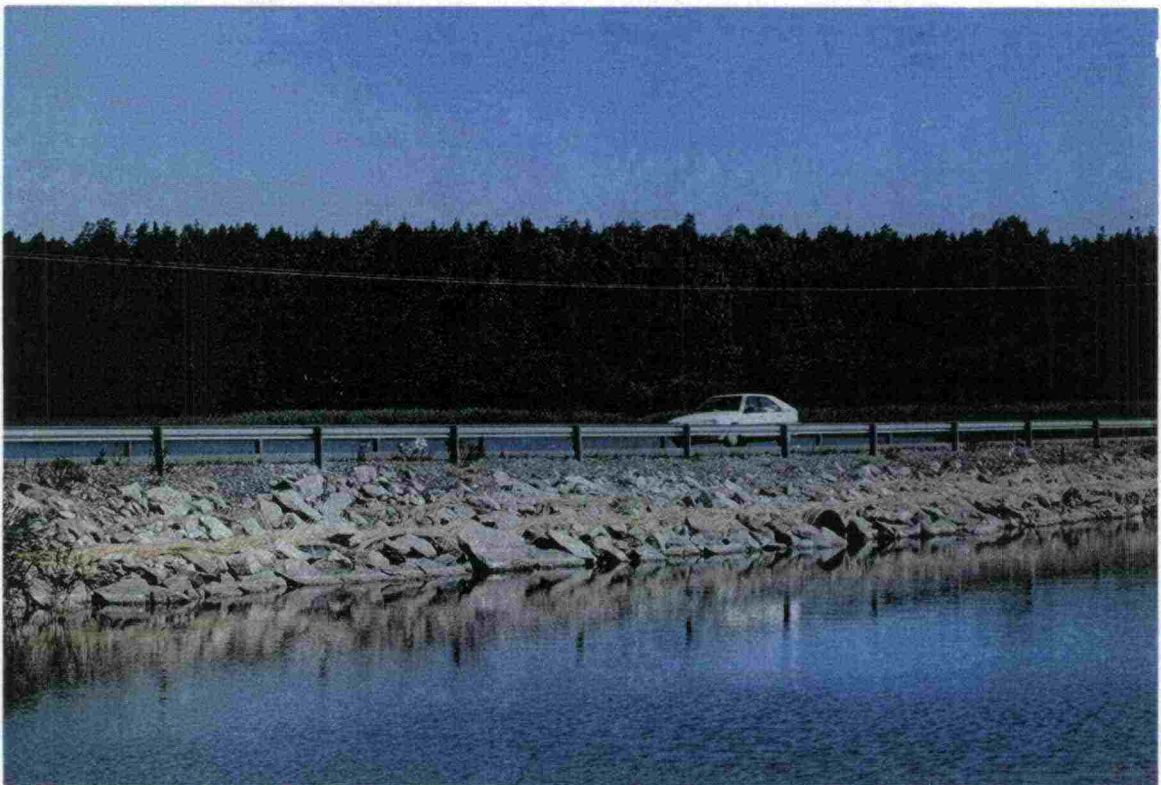
Taulukko 3.3. Nauvon Gammelvikin-Bredvikin penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1992.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	80.1 %	0.10
2	20.7 %	0.36
3	65.8 %	0.21
4	46.0 %	0.19
K	26.8 %	0.24

Tulosten tarkastelua

Gammelvik-lahden merestä erottava pengertie estää murtoveden vapaan vaihdon lahden ja ulapan välillä, vaikka penkereeseen rakennettu putki estääkin lahden veden muuttumisen täysin suolattomaksi.

Tiepenkereen aiheuttama ympäristömuutos rajoittuu ainakin toistaiseksi Gammelvikin eliöstön köyhtymiseen, kun murtoveden lajit taantuvat, mutta tyypilliset makean veden järvilajit eivät myöskään pysty lahteen vakiintumaan.



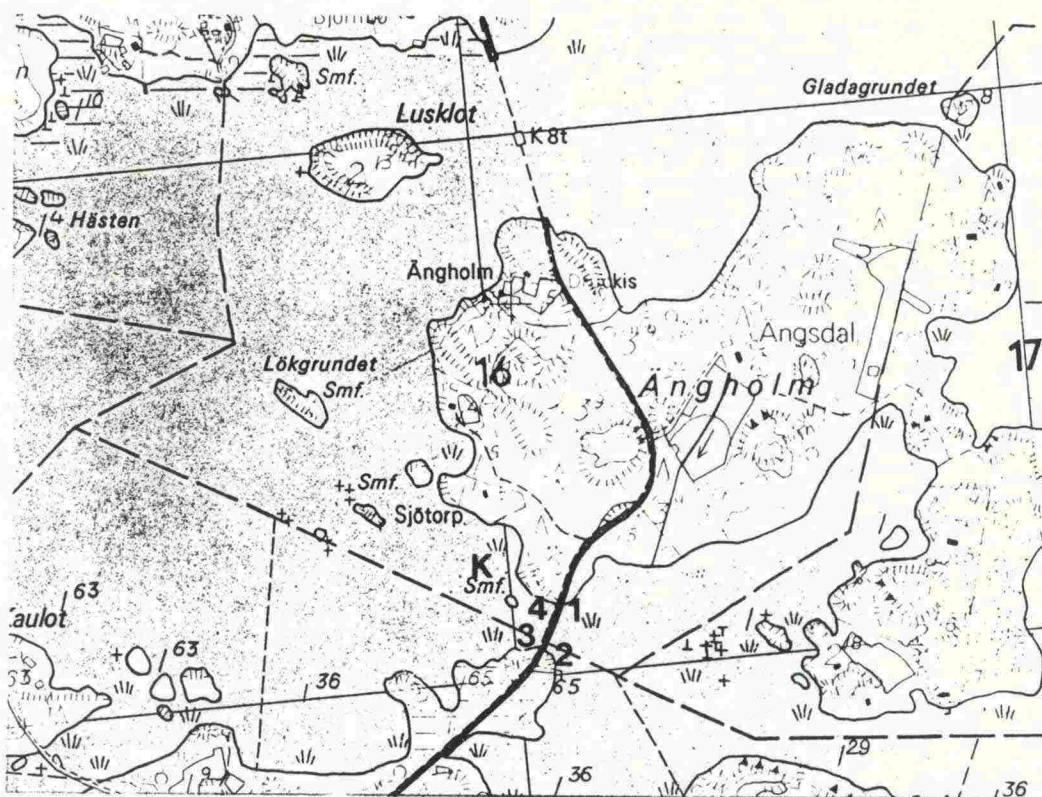
Kuva 4. *Gammelvikin-Bredvikin penger ei ole aiheuttanut vesialueen rehevöitymistä ja maatumista.*

Mataloitusmiskehitystä pengertie ei ole merkittävästi lisännyt, vaikka järviruokokasvustojen biomassan tuotanto ja yhdyskuntien tiheys ovat maatumista ja umpeenkasvua nopeuttavia tekijöitä. Kasvillisuuden aiheuttama maatuminen on kuitenkin merkittävää vain lahden suojaisessa pohjukassa.

Pengertie on muuttanut Gammelvikin eliölajistoa mereisestä kohti makean veden yhteisöä. Muutosta ei kuitenkaan voida pitää merkittävänä haittana, koska lahdessa ei ole uhanalaisia tms. suojeluarvoa omaavia lajeja. Vesialueen maisemalliset tai monikäyttöön liittyvät arvot eivät ole pengertien aiheuttamien muutosten takia uhattuina lähivuosina, joten nykyisen rummun voidaan katsoa riittävän huolehtimaan veden vaihtumisesta merialueen ja Gammelvikin välillä.

4. Korsfjärdin penger; Nauvo

Nauvossa Ängholmin ja Högsarin saarten välille rakennettu Korsfjärdin tiepenger (Kuva 5) sulkee saarten välisen vesiyhteyden täysin. Pengerryksen seurauksena on havaittavissa maatumiskehityksen nopeutumista tien molemmiin puolin. Suoria avovesiyhteyksiä penkereen reunoilta avoveteen ei ole enää jäljellä. Lahtien umpeenkasvu ei kuitenkaan vielä ole edennyt niin pitkälle, että kasvillisuus olisi aiheuttanut vesialueiden lopullista maatumista keskimääräisen vedenpinnan yläpuolelle.



Kuva 5. Korsfjärdin pengertie ja kesän 1992 näytealueiden sijainti.

Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella

Korsfjärdin pengertie sijaitsee välisaaristossa, jossa meren vaikutus on kaikilla rantaosuuksilla suuri. Tiepenkereen molemmilla puolilla tavattava kasvisto on täysin tyypillistä saariston matalan rantavyöhykkeen lajistoa. Penkereen vaikutus ympäristöolosuhteisiin on vähäinen. Tutkimusalueella ei havaittu yhtään rehevöitymisen indikaattorilajia.

Puhtaan luonnontilan osoittajista sen sijaan penkereen molemmin puolin kasvaa siemenkasveja ruskoärviä (*Myriophyllum alterniflorum*) ja pohjalehtisistä hapsiluikka (*Eleocharis acicularis*). Makrolevistä varsinkin rakkolevän (*Fucus vesiculosus*) ja *Chara*-näkinpartaislevien esiintyminen osoittaa, ettei rehevöityminen tai pohjan laadun muutos pengertien tuntumassa ole vaikuttanut haitallisesti alueen eliöstöön.

Taulukko 4.1. Lajistoa Nauvon Korsfjärdin pengertien vaikutuspiirissä

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Hapsivita (<i>Potamogeton pectinatus</i>)	+/-	-	+/-
Ahvenvita (<i>Potamogeton perfoliatus</i>)	+/-	+	+/-
Tähkä-ärviä (<i>Myriophyllum spicatum</i>)	+/-	+/-	+/-
Ruskoärviä (<i>Myriophyllum alterniflorum</i>)	-	-	-
Putkilevä (<i>Enteromorpha intestinalis</i>)	+	-	+
Rakkolevä (<i>Fucus vesiculosus</i>)	-	-	-
Ahdinparta (<i>Cladophora glomerata</i>)	+/-	-	+/-
Hapsiluikka (<i>Eleocharis acicularis</i>)	-	-	-

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Tiepenkereen tuntumassa kasvavat järviruokoyhdyskunnat ovat keskimääräistä tiheämpiä ja runsastuottoisempia (Taulukko 4.2). Tuotanto-oloja parantaa varsinkin aallokon ja jään mekaanisen kulutuksen heikkeneminen pengerryksen seurauksena. Korsfjärdin ruo'ikoita ei biomassan tuotannon tehostumisesta huolimatta voi luokitella kasvustoiksi, joiden luonnetta ihmisen toiminta olisi merkittävästi muuttanut.

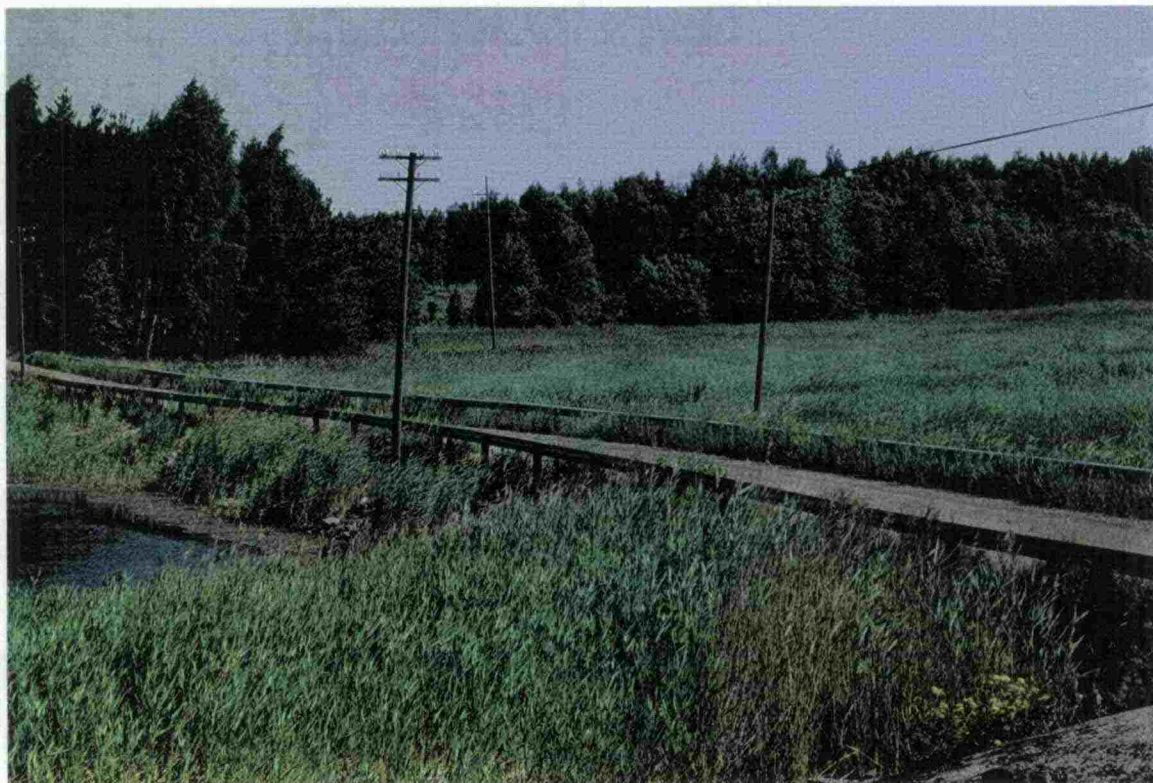
Taulukko 4.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Nauvon Korsfjärdin penkereen varrella kesällä 1992.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	19	202	170	1391
2	17	278	177	1567
3	24	257	204	1893
4	28	180	206	1384
K	20	126	193	1022

Pengertien vaikutus näkyy selvimmin pohjan laadun muutoksena. Penkereen molemmiin puolin havaitaan kasvupaikoille kerrostuvan orgaanisen aineksen nostavan eloperäisen aineksen pitoisuutta (max. 73 % pisteessä 1) noin kaksi kertaa korkeammiksi kuin merenrannikoilla tavallisesti. Tämän seurauksena pohjan laatu muuttuu, mutta vaikutus rajoittuu kasvustojen sisäosiin. Runsaan orgaanisen aineksen hajotus heikentää pohjan ja sedimenttikerroksen yläpuolisen vesipatsaan happitilannetta, millä on ekologisesti haitallinen vaikutus. Kesän 1992 aikana ei kuitenkaan havaittu täydellistä happikatoa tutkituissa näytepisteissä.

Taulukko 4.3. Nauvon Korsfjärdin penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1992.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	73.2 %	0.14
2	19.9 %	0.45
3	45.2 %	0.26
4	4.1 %	0.64
K	35.0 %	0.33



Kuva 6. Kiinteä tiepenger on nopeuttanut Ängholmin ja Högsarin saarten välisen vesialueen maatumista.

Tulosten tarkastelua

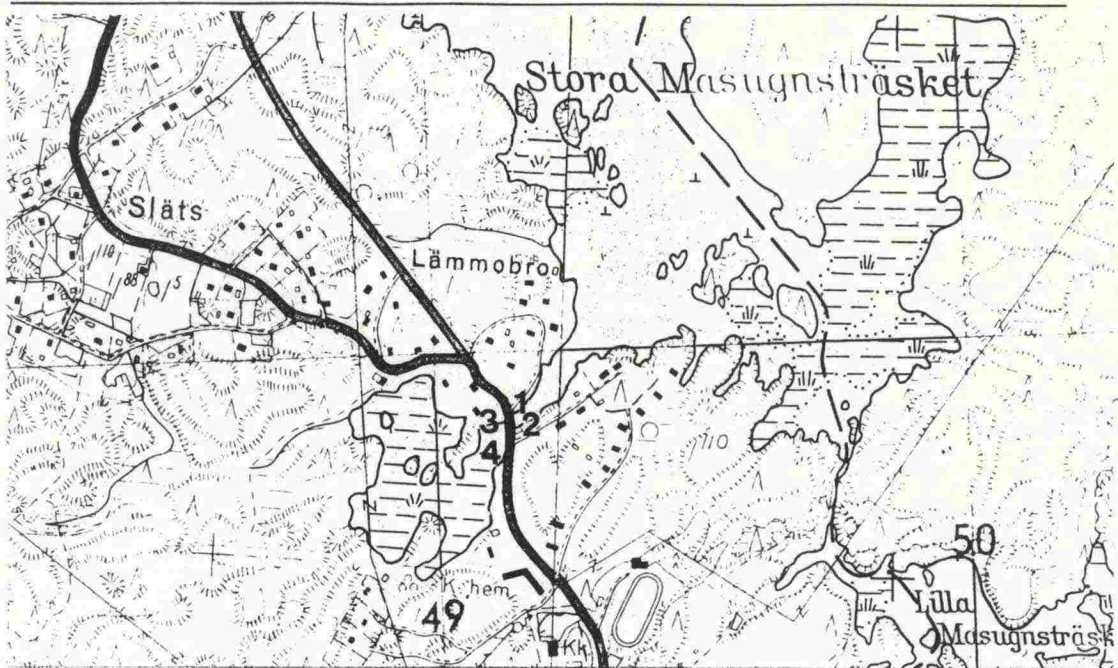
Ängholmin ja Högsarin saarten välille rakennettu Korsfjärdin pengertie on selvästi nopeuttanut penkereen ympäristön umpeenkasvua tehostamalla matalan salmen järviruokokasvustojen tuotantoa. Ilmaversoiskasvillisuus estää jo suoran avovesivaikutuksen tiepenkereen molemmilla puolilla, mikä puolestaan lisää mm. veden ja pohjakerrosten hapen vajausta kasvukauden lopulla.

Ekologisia haittoja voitaisiin estää rakentamalla veden virtauksia mahdollistava rumpu keskelle pengertä, mikä parantaisi pohjan läheisten kerrosten happitaloutta. Maatumiskehityksen jarruttamiseksi on kuitenkin ruokokasvustot tuhattava leikkaamalla kasvustot useampaan kertaan peräkkäisinä kasvukausina tai ruoppaamalla leveät uomat tiepenkereen tuntumasta avoveden reunalle.

Kiireellistä tarvetta tieyhteyden puhkaisemiseen ei kuitenkaan ole, sillä ekologisetkin haitat ovat Korsfjärdin penkereen tuntumassa vähäiset. Maisemallisen avoimuuden ja vesistön monikäyttömahdollisuuksien ylläpitäminen sen sijaan edellyttäisi ruokokasvustojen kunnien nopeaa ja laaja-alaista hävittämistä ja virtauksen rakentamista.

5. Stora Masugnträskin-Lämmökärretin penger; Taalintehdas

Taalintehtaan taajaman pohjoispuolelle rakennettu tiepenger katkaisee täysin veden virtaukset Stora Masugnträsket'in ja Lämmökärret'in ja välillä (Kuva 7). Tämän seurauksena molemmat vesialueet ovat nopeasti rehevöityneet ja maatuneet. Suojaiset lahdet ovat sedimentaatioaltaita, joihin kerrostuu runsaasti orgaanista, alueen oman kasvillisuuden tuottamaa lietettä. Molempien vesialueiden rannat ovat lisäksi alkaneet soistua. Turvelautojen pinnanmyötäinen kasvu nopeuttaa vesistöjen maatumiskehitystä.



Kuva 7. Taalintehtaan tiepenger ja kesän 1992 näyte-alueiden sijainti.

Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella

Pengertien molemmiin puolin rajoittuvat vedet ovat hyvin voimakkaasti rehevöityneet tiepenkereen rakentamisen seurauksena. Alueen vaateliaimmat rantakasvit leveäosmankäämi (*Typha latifolia*) ja kurjenmiekka (*Iris pseudacorus*) ovat tyypillisiä kulttuurieutrofian, ihmisen aiheuttaman ravinnelisyksen osoittajia. Pitkälle edennyt rehevöitymistä osoittaa myös irtokelluja pikkulimaskan (*Lemna minor*) runsaus.

Pahoin rehevöityneen vesistön tyyppilajeja pengertien tuntumassa edustavat lisäksi kiehkuraärviä (*Myriophyllum verticillatum*), rantapalpakko (*Sparganium emersum*) ja ratamosarpio (*Alisma plantago-aquatica*), joiden runsaus osoittaa jätevesivaikutusta tai ihmisen tehostaman huuhtoutumisen vaikutusta. Ulpukan (*Nuphar lutea*) runsaus osoittaa pohjan laadun muutosta. Ulpukka menestyy monia muita ravinteisissa vesissä viihtyviä lajeja paremmin pehmeillä lietepohjilla, joten nykyisten kasvustojen pinta-alat pengertien vaikutuspiirissä kasvavat tulevaisuudessa.

Varsinaisia puhtaan veden ja korkean happipitoisuuden ilmentäjälajeja Taalintehtaan penkereen lähivesistä ei tavattu lainkaan (Taulukko 5.1.).

Pengertien rajaamille vesialueille, varsinkin Stora Masugnträket'in puolella on tyypillistä rentovihvilän (*Juncus bulbosus*) runsaus. Uposkasvina laji täyttää parikymmensenttisen lahden kokonaan

muodostaen koko lahden pintaa peittävän yhtenäisen maton. Rentovihvilä on "poikkeusolojen kasvi", joka valtaa alaa äärimmäisen tehokkaasti mm. happamoituneissa vesissä. Syynä vihvilän runsauteen on matalan, runsaasti orgaanista ainesta kerrostavan lahden poikkeuksellinen happitilanne sekä orgaanisten pohjasedimenttien alhainen pH-arvo.

Taulukko 5.1. Lajistoa Taalintehtaan Stora Masugnträsket-Lämmökärret -pengertien vaikutuspiirissä.

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Pikkulimaska (<i>Lemna minor</i>)	+	+/-	+/-
Ahvenvita (<i>Potamogeton perfoliatus</i>)	+/-	+	+/-
Uistinvita (<i>Potamogeton natans</i>)	+/-	+	+/-
Kiehkuraärviä (<i>Myriophyllum verticillatum</i>)	+	+	+/-
Rentovihvilä (<i>Juncus bulbosus</i>)	+	+/-	+
Rantapalpakko (<i>Sparganium emersum</i>)	+	+	+/-
Pikkuvesitähti (<i>Callitriche verna</i>)	+	+	+/-
Isovesiherne (<i>Utricularia vulgaris</i>)	+	+/-	+/-
Ulpukka (<i>Nuphar lutea</i>)	+	+	+/-
Leveäosmankäämi (<i>Typha latifolia</i>)	+	+	+/-
Ratamosarpio (<i>Alisma plantago-aquatica</i>)	+	+	+/-
Kurjenmiekka (<i>Iris pseudacorus</i>)	+	+	+/-

Lahden pohjanläheiset kerrokset ovat keski- ja loppukesällä (varmasti myös talvella) hyvin niukkahappisia. Rentovihvilää tämä ei haittaa, sillä

laji pystyy useimmista vesikasveista poiketen elämään lähes hapettomissa olosuhteissa poikkeuksellisen solukkojen sisäisen hapenkierrätysmekanismin ansiosta.

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Taalintehtaan pengertien lähituntumassa ei kasva lainkaan kookkaita ilmaversoiskasvustoja.

Täysin virtaamattomat ja myös aallokon ja jään kuluttavalta toiminnalta suojatut lahdenpohjukat Stora Masugnträsket'issä ja Lämmökärret'issä ovat erityisesti vesialueen oman kasvillisuuden tuottaman orgaanisen aineksen kerrostumisaltaita. Vesialueiden lopullinen maatuminen onkin edennyt rannoilta lähtien nopeasti.

Runsaan orgaanisen aineksen (Taulukko 5.3) seurauksena pohjan hapenkulutus on poikkeuksellisen suurta, mikä johtaa ainakin loppukesällä sedimenttikerroksen ja pohjan läheisen veden hapenvajaukseen, osin täysin täydelliseen happikatoon.

Taulukko 5.2. Taalintehtaan penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1992.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	44.3 %	0.16
2	39.0 %	0.24
3	42.2 %	0.20
4	11.2 %	0.79

Tulosten tarkastelua

Taalintehtaan pengertie estää täysin veden vaihdon ja liikkeen Stora Masugnträsket'in ja Lämmökärret'in välillä. Maatumiskehitys on rajusti nopeutunut, mikä johtaa tien tuntumassa olevien matalien lahtien täydelliseen umpeenkasvuun.

Tilanteen korjaamiseksi pengertie olisi välttämättä puhkaistava leveällä rummulla tai sillalla, jotta vedenvaihto estäisi sedimentaatiota ja hapenvajasta. Tien rakentamisen jälkeen tapahtunut mataloituminen on jo edennyt niin pitkälle, että vesialueiden

ekologisen "terveyden" ja ajan mittaan rannan maisemallisten arvojen ja vesialueen monikäyttömahdollisuuksien turvaaminen edellyttää penkereen puhkaisun lisäksi tehokasta lietteen poistamista penkereen molemmilta puolilta veden- vaihdon turvaamiseksi.

Yhteenveto ja toimenpidesuositukset

1. Atun paikallistien penger; Parainen

Paraisila sijaitsevan Atun paikallistien pengerosuuden eteläpuolella kasvava järviruokoyhdyskunta on "syyllinen" lahden nopeaan mataloitumiseen. Suljetussa lahdessa tuotettu orgaaninen massa kerrostuu kokonaisuudessaan syntypaikoilleen, mikä nopeuttaa rantavyöhykkeen luontaista maatumista merkittävästi.

Turun vesi- ja ympäristöpiiri on puoltanut 4.5 metrin virtausaukon rakentamista tiepenkereeseen Kanungrundenin saaren itäpuolelle. Lisäksi vedenvaihdon tehostaminen edellyttää väylän ruoppaamista virtausaukolta lahden keskiselle avovesialueelle.

Atun paikallistien pengerosuuden puhkaiseminen voidaan asettaa kiireellisyysjärjestyksessä Nauvon Korsfjärdin tiepenkereen kanssa samanarvoiseksi.

2. Särkisalon penger

Särkisalon pengertie on nopeuttanut tien eteläpuolella sijaitsevan Kylänlahden maatumista penkereen itäpäässä, jossa lahti on alunperinkin ollut matala ja pehmeäpohjainen. Penkereen länsipuoliskolla oleva virtausaukko pitää ulappa-alueen ja aukkoa lähinnä sijaitsevat rannat "ekologisesti terveinä". Pohjakerrostumien happikato ja siitä johtuvat haitat rajoittuvatkin penkereen itäpäähän (Aulio 1991).

Kesän 1991 selvityksen perusteella Särkisalon penkereen puhkaiseminen toisella, tien itäpäähän rakennettavalla virtausaukolla parantaisi ranta-alueen tilaa. Verrattaessa pengertien olosuhteita muihin käsillä olevan raportin tutkimusalueisiin, Särkisaloa ei voida pitää kiireellisenä toimenpiteenä.

3. Niksorin paikallistien penger; Särkisalo

Kesän 1991 selvityksessä (Aulio 1991) todettiin Niksorin pengertien rakentamisen ilman veden vaihtuvuutta palvelevia virtausaukkoja osoittautuneen "ekologiseksi virheeksi". Veden liikkeen ja

mekaanisen toiminnan jyrkkä heikkeneminen on tehostanut kookkaan rantakasvillisuuden tuotantoa. Pengertien ylittämä salmi ei ole penkereestä huolimatta päässyt kokonaan umpeutumaan.

Turun tiepiiri on 27.5.1992 antamallaan päätöksellä päättänyt parantaa Niksorin paikallistien 12084 virtausoloja rakentamalla tiepenkereeseen kaksi virtausaukkoa (Nikсорin putkisilta, D 2.0 m ja Kaivoksen putkisilta, D 2,0 m). Lisäksi Nikсорin putkisillan pohjoispuolta ruopataan maatunutta aluetta noin 1000 neliömetrin alueelta.

4. Lankholmanrauma; Kustavi

Lankholmanrauman pengertien katkaiseminen virtausaukolla parantaisi varsinkin Vikatmaan saaren puoleisen rannan ekologista tilaa tuomalla pohjan läheisiin vesikerroksiin happipitoista vettä. Vakiintuneet ruokokasvustot ovat niin tiheitä ja voimakkaita, että virtausaukko ja siihen liittyvä uoma parantaisivat vesialueen tilaa paikallisesti.

Penkereen eteläpuolella maatumista nopeuttaa kävelytieksi pengerretty valli, joka estää allokon ja jään kuluttavaa toimintaa. Mikäli lahden tilaa halutaan parantaa, kaikki rantaviivan ulkopuolella sijaitsevat veden liikkeitä estävät vallit on poistettava.

5. Särkängsalmen penger; Merimasku

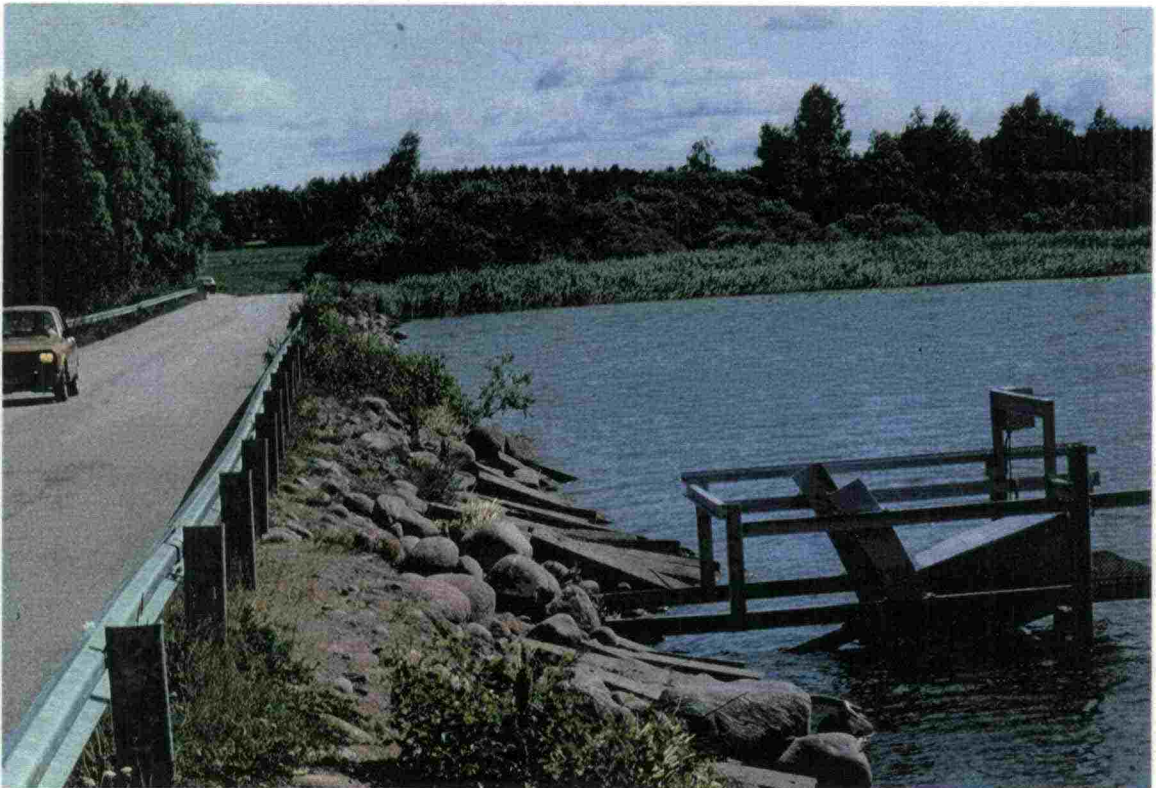
Naantalin ja Merimaskun välillä sijaitseva Särkängsalmen pengertie nopeuttaa rantavesien rehevöitymistä. Osasyynä muutokseen on paikalliselta kalankasvatuslaitokselta vuosien varrella tullut lietekuorma, jonka vapauttamat ravinteet "ruokkivat" vesi- ja rantakasveja kasvukaudesta toiseen, vaikka itse kalanviljelytoimintaa ei jatkettaisikaan.

Särkängsalmen pengertien läpäisevän virtausaukon rakentaminen on sisällytetty Turun tiepiirin rakentamisohjelmaan vuodelle 1993.

6. Köyliönjärven penger

Köyliönjärven pengertien nykyisen virtauskehittimen (Kuva 8) aikaansaama vedenvaihto on osoittautunut liian vähäiseksi, joten pengertie olisi syytä puhkaista leveällä virtausrummulla tai sillalla.

Köyliön penkereen nykyinen rumpu virtauskehittiminen on muuttanut veden liikkeitä salmessa, sillä veden kuljettama liete on kerrostunut epäsäännöllisesti vesistön pohjaan. Tämän seurauksena veden liikkeet suuntautuvat kohti Kirkkosaaren rantaa. Ensimmäinen veden ekologista tilaa paikallisesti parantava toimenpide olisikin virtauskehittimen eteen sedimentoituneen lietevallin poistaminen.



Kuva 8. Köyliönjärven pengertie estää veden vapaata liikettä, mikä on lisännyt rehevöitymistä ja salmen maatumista. Nykyinen penkereen puhkaiseva rumpu virtauskehittiminen on osoittautunut liian tehottomaksi.

7. Pirtinpuhdin penger; Uusikaupunki

Uudenkaupungin Pirtinpuhdin pengertien ekologiset ja lahden maatumista edistävät vaikutukset ovat vähäisiä. Penkereen itäpään tehty rumpu hoitaa lahden vedenvaihdon riittävän tehokkaasti yhdessä tuulen suorittaman liikkeen kanssa.

Kesän 1992 selvityksen perusteella voidaan Pirtinpuhdin penkereen nykyisen rumpuyhteyden tarjoamaa vedenvaihtoa pitää riittävänä.

8. Kuusistonrauman penger; Taivassalo

Taivassalon Kuusistonrauman tiepenkereen virtausrumpu on ainakin kesän 1992 tutkimuksen perusteella riittävän tehokas huolehtimaan vedenvaihdosta penkereen läpi. Ekologiset olosuhteet, vesi- ja rantakasvillisuuden lajisto sekä rantavyöhykkeen järviruokokasvustot ovat alueen merenrannikoille tyypillisiä.

Kesän 1992 tutkimuksen perusteella Kuusistonrauman pengertiehen ei tarvita nykyistä virtausrumpua tehokkaampaa veden vaihtoa.

9. Bredviken-Gammelvik -penger; Nauvo

Nauvon kirkonkylän lounaispuolella sijaitseva Bredviken'in-Gammelvikin penger muuttanut Gammelvikin eliölajistoa mereisestä kohti makean veden yhteisöä.

Vesialueen maisemalliset tai monikäyttöön liittyvät arvot eivät ole pengertien aiheuttamien muutosten takia uhattuina lähivuosina, joten nykyisen rummun voidaan katsoa riittävän huolehtimaan veden vaihtumisesta merialueen ja Gammelvikin välillä.

10. Korsfjärd; Nauvo

Nauvon Ängholmin ja Högsarin saarten välille rakennettu Korsfjärdin penger on nopeuttanut salmen maatumista niin pahoin, että penger olisi pikaisesti puhkaistava virtausrummulla. Lisäksi tiiviitä järviruokokasvustoja olisi ruopattava vedenvaihdon turvaamiseksi.

Kesän 1992 tutkimuksen viidestä penkereestä Korsfjärdin korjaaminen asettuu kiireellisyysjärjestyksessä toiseksi Taalintehtaan penkereen jälkeen.

11. Stora Masugträsket'in-Lämmökärret'in penger; Taalintehtas

Taalintehtaan pengertie Stora Masugträsket'in ja Lämmökärret'in välillä olisi välttämättä puhkaistava leveällä rummulla tai sillalla, jotta vedenvaihto estäisi sedimentaatiota ja hapenvajausta. Mataloituminen on jo edennyt niin pitkälle, että penkereen puhkaisun lisäksi tarvitaan tehokasta lietteen poistamista penkereen molemmilta puolilta vedenvaihdon turvaamiseksi.

Kesän 1992 tutkimuksen perusteella Taalintehtaan penkereen puhkaisua voidaan pitää tutkituista vaihtoehdoista kiireellisimpänä toimenpiteenä.

Kirjallisuus

- Anttonen-Heikkilä, K. (1983): Säännöstelyn vaikutuksista Oulujärven vesi- ja rantakasvillisuuteen. - Vesihallitus, Tiedotus 231: 1-89.
- Aulio, K. (1979): Mataloitumisen vaikutus kasvillisuuteen Kokemäenjoen suistoalueella. - Turun yliopiston Maantieteen laitoksen julkaisuja 90: 1-30.
- Aulio, K. (1991): Vesistöpenkereiden ympäristövaikutusten arviointi. - Tutkimusraportti, 28 s. Turun tiepiiri, Turku.
- Aulio, K. & Aulio, H. (1989): Rantavyöhykkeen suurkasvillisuus maatumisen edistäjänä sekä Pihlavanlahden pohjan laadun muuttajana. - Esitutkimus Lampaluodon-Ahlaisten paikallistien ympäristövaikutuksista (K.Aulio, H.Aulio, & J.Lampolahti; Turun tie- ja vesirakennuspiiri; Turun yliopiston biologian laitos ; Porin kaupungin ympäristönsuojelulautakunta). - Porin ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 2/89: 42-66.
- Häkkilä, S., Aulio, K. & Saario, J. (1986): Raisionlahden yleiskuvaus. - Turun yliopiston Biologian laitoksen julkaisuja 11: 7-13.
- Lampolahti, J. (1989): Jokivesien sekoittuminen murtoveteen Porin rannikolla. Vesikasvilajiston tarkastelu. Esitutkimus Lampaluodon-Ahlaisten paikallistien ympäristövaikutuksista (K.Aulio, H.Aulio, & J.Lampolahti; Turun tie- ja vesirakennuspiiri; Turun yliopiston biologian laitos; Porin kaupungin ympäristönsuojelulautakunta). - Porin ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 2/89: 2-41 + liitteet.
- Lampolahti, J. (1991): Jokivesien sekoittuminen murtoveteen Porin rannikolla - vesikasvilajiston tarkastelu ja vesistörakentamisen vaikutusten arviointi. - Luonnon Tutkija 95: 11-14.
- Niemi, R.A. (1990): Makrofytyt vesien tilan seurannassa. - Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, Sarja A 53: 1-95.
- Toivonen, H. (1984): Makrofytytien käyttökelpoisuus vesien tilan seurannassa. - Luonnon Tutkija 88: 92-95.
- Vesi- ja ympäristöhallitus (1988): Vesistöjen laadullisen käyttökelpoisuuden luokittaminen. - Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja Sarja A 20.
- Westerberg, J. (1976): Vägbankarnas inverkan på några ekologiska variable in den Åländska skärgården. - Huso Biologiska Stationen, Meddelande 18: 47-78.
- Ympäristöministeriö (1988): Ympäristövaikutusten arviointi tien-suunnittelussa. - Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto, Sarja C 36/1988: 1-31.

921566



Tielaitos

Turun tiepiiri 1991

VESISTÖPENKEREIDEN
YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI



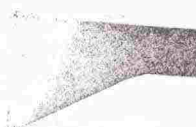
Kai Aulio

Turku, 1991

08 TIEH/TUR

08 TIEL

228166



Tielaitos
Tiehallituksen kirjasto

Doknro: 921162

Nidenro: 921566

08 TIEL / 228166

VESIŠTÖPENKEREIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

1. Atun paikallistien penger; Parainen
2. Särkisalons penger; Särkisalo
3. Niksorin paikallistien penger; Särkisalo
4. Lankholmanrauman penger; Kustavi
5. Särkänsalmen penger; Merimasku
6. Köyliön virtausaukko; Köyliö.

Kai Aulio

Turku, 1991

Vesistöpenkereiden ympäristövaikutusten arvionti

SISÄLLYS

Johdanto	2
Tutkimuksen osat ja tutkimusmenetelmät	2
(1) Atun paikallistien penger; Parainen	4
Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella	4
Järviruokokasvustot ja pohjan laatu	5
Tulosten tarkastelua	6
(2) Särkisalon penger; Särkisalo	9
Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella	10
Järviruokokasvustot ja pohjan laatu	10
Tulosten tarkastelua	12
(3) Niksorin paikallistien penger; Särkisalo	12
Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella	13
Järviruokokasvustot ja pohjan laatu	14
Tulosten tarkastelua	15
(4) Lankholmanrauman penger; Kustavi	16
Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella	17
Järviruokokasvustot ja pohjan laatu	17
Tulosten tarkastelua	19
(5) Särkänsalmen penger; Merimasku	20
Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella	20
Järviruokokasvustot ja pohjan laatu	21
Rihmaleväkasvustot	22
Tulosten tarkastelua	23
(6) Köyliön virtausaukko; Köyliö	24
Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella	24
Järviruokokasvustot ja pohjan laatu	25
Tulosten tarkastelua	27
(7) Kirjallisuus	27

Johdanto

Pengerteiden rakentaminen muuttaa vesistön virtausoloja sekä aallokon ja jään kulutustoimintaa. Heikentyneen virtauksen ja/tai kulutuksen seurauksena on usein vesistön mataloituminen ja luontaisen maatumiskehityksen nopeutuminen. Seurauksena saattaa olla vesialueen luonnonolojen muutos, joka vaikuttaa eläin- ja kasvilajistoon sekä veden syvyysuhteisiin.

Turun tiepiirin alueelta tutkittiin kesällä 1991 kuusi pengerosuutta, joiden ympäristöoloja arvioidaan kasvillisuus- ja pohjasedimenttiselvityksellä. Tiepiiri valitsi seurantakohteiksi seuraavat penkereet:

1. Atun paikallistien penger; Parainen
2. Särkisalon penger; Särkisalo
3. Niksorin paikallistien penger; Särkisalo
4. Lankholmanrauman penger; Kustavi
5. Särkänsalmen penger; Merimasku
6. Köyliön virtausaukko; Köyliö.

Kesän 1991 tutkimuksessa toteutettiin kunkin kuuden pengertien vaikutuspiirissä kolme osaselvitystä.

Tutkimuksen osat ja tutkimusmenetelmät

(1) Vesi- ja rantakasvillisuuden lajisto

Kunkin kuuden pengerkohteen vaikutuspiirissä analysoitiin kasvilajisto luetteloimalla havaitut vesi- ja rantakasvilajit. Lajiston perusteella arvioidaan penkereiden aiheuttamia muutoksia erottamalla kustakin kohteesta kasvilajit seuraaviin indikaattoriryhmiin:

- (1.1.) rehevöitymisen, runsasravinteisuuden osoittajat/
niukkaravinteisuuden osoittajat
- (1.2.) pehmeän pohjan ilmentäjät/
kovan pohjan ilmentäjät
- (1.3.) runsashappisuutta vaativat lajit/
rehevöityneessä, vähähappisessa vedessä viihtyvät lajit

Vesikasvillisuuden lajistoanalyysien perusteet ja tulosten tulkinta ovat Suomessa vakiintuneet (vrt. Toivonen 1984; Niemi 1990). Yksittäisen kasvupaikan vesikasvilajistoon vaikuttavat niin monet fysikaalis-

kemialliset ympäristötekijät, ettei jonkin lajin esiintymisen tai puuttumisen perusteella voi tehdä yksiselitteisiä johtopäätöksiä kasvupaikan ominaisuuksista. Yleensä vesikasvilajiston katsotaan heijastavan enemmän rantavyöhykkeen ominaisuuksia kuin alueen ulappavesien tilaa (vrt. Toivonen 1984).

(2) Järviruokokasvustojen biometriset mittaukset

Matalissa rantavesissä tyypillisen järviruo'on kasvustojen ominaisuudet muuttuvat veden liikkeiden/eroosion muutosten ja rehevöitymiskehityksen kuluessa (vrt. Aulio & Aulio, 1989).

Kesän 1991 tutkimuksessa tehtiin kultakin pengerkohteelta ja näiden vertailualueilta ruokokasvustojen tiheyden ja versoston koon/massan mittaukset vakiintunein menetelmin (vrt. Aulio & Aulio 1989; Niemi 1990). Ilmaversoiskasvillisuuden määritykset tehtiin kasvukauden lopulla kasvustojen saavutettua maksimibiomassansa.

(3) Pohjan laadun selvitykset

Pengertieden aiheuttama veden liikkeiden estyminen tehostaa sekä mineraaliaineksen että matalan rantavyöhykkeen kasvillisuuden orgaanisen karikkeen kerrostumista. Kesän 1991 selvityksessä kerättiin sedimenttinäytteet kunkin pengertien läheisyydestä erilaisilta eroosio- ja kulutusrannoilta sekä ruokokasvustojen keskeltä.

Pohjanäytteistä analysoitiin orgaanisen aineksen pitoisuus (**Hh**), jonka perusteella voidaan arvioida kerrostumisprosessin nopeutta ja penkereen vaikutusta maatumisen kiihdyttäjänä (vrt. Aulio & Aulio 1989) sekä sedimentin kiinteys (**Hj**; sedimentin painon ja tilavuuden suhde, vrt. Häkkilä, Aulio & Saario 1986).

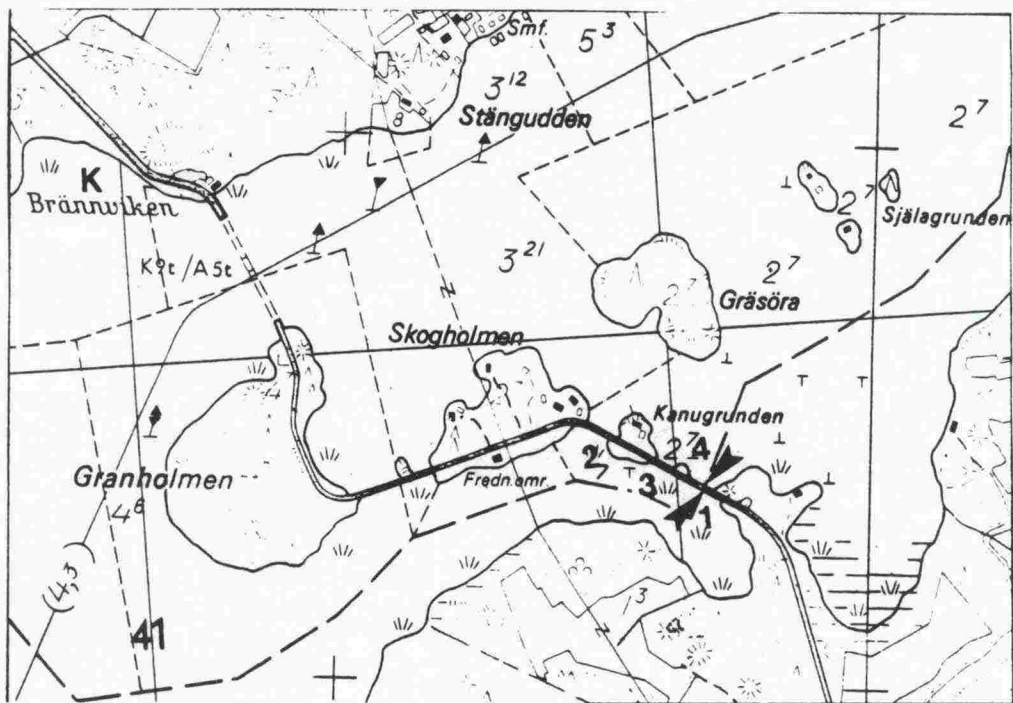
(4) Erillisselvitykset

Särkängsalmen penkereen vaikutuksia tutkittaessa huomioitiin tievaikutuksen lisäksi muut ihmisen aiheuttamat ympäristömuutokset. Penkereen eteläpuolella sijaitseva kalankasvatuslaitos aiheuttaa ravinnepestänsä rehevöitymistä ja pohjan laadun muutoksia.

Särkängsalmen penkereen etelä- ja pohjoispuolella kasvavista rantalevien yhdyskunnista tehtiin biomassamäärityksiä ja leväsolukkojen kemiallisia määrityksiä, joiden avulla voidaan arvioida penkereen ja kalankasvatuslaitoksen osuutta havaittuihin ympäristömuutoksiin.

(1) Atun paikallistien penger; Parainen

Granholmenin saaresta Atun saareen 1960-luvulla rakennettu kiinteä pengertie (Kuva 1) on heikentänyt veden virtauksia, minkä seurauksena tien eteläpuolelle jäänyt lahti on rehevöitynyt. Noin 1.3 kilometrin pituinen pengertie sulki viisi saarten välistä luonnollista virtaustietä. Tien rakentamisen jälkeen veden vaihtuminen estyi, minkä seurauksena pengertien eteläpuolelle jäänyt lahti alkoi nopeasti rehevöityä. Nyt lahden rannat ovat voimakkaan vesikasvillisuuden peittämät.



Kuva 1. Atun paikallistien penger ja kesän 1991 tutkimuksen näytealueet.

Kasvillisuusyhdyskunnat pengertien varrella

Atun pengertien tuntumassa kasvava vesikasvillisuus on lounaisrannikon merenlahdille tyypillistä. Tutkimusalueen valtalajeista veden laadun indikaattoreina voidaan pitää ulpukkaa, joka

suosii rehevöitymistä, sietää hapen vajausta ja suosii orgaanisen aineksen kerrostumista kasvupaikoille. Atun penkereen vaikutuspiirissä laji menestyy suojaisella eteläpuolella, ilmeisesti juuri pengertien rakentamisen seurauksena.

Rehevöitymisen indikaattorina voidaan pitää myös putkilevää, joka tosin menestyy kaikilla rantavyöhykkeillämme. Tehostunut biomassan tuotanto kuitenkin osoittaa lajin hyötyvän ravinteisuuden lisääntymisestä.

Niukkaravinteisuuden osoittajista alueella tavataan hapsiluikka, joka ei siedä reheville vesille tyypillistä pohjan läheisten kerrosten hapen vajausta. Atussa laji menestyykin vain penkereen pohjoispuolella, jossa aallokko ja virtaukset kuljettavat orgaaniset karikkeet pois ja pitävät alustan näin kovana ja veden happipitoisena.

Taulukko 1.1. Lajistoa Atun pengertien vaikutuspiirissä

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Ahvenvita	+/-	+	+/-
Uistinvita	+/-	+	+/-
Tähkä-ärviä	+/-	+/-	+/-
Ulpukka	+	+	+/-
Putkilevä	+	-	+
Ahdinparta	+/-	-	+/-
Hapsiluikka	-	-	-

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Virtausten ja etenkin jään ja aallokon kuluttavan toiminnan heikkeneminen on johtanut pengertien rajaaman lahden mataloitumiseen ja vesikasvillisuuden voimistumiseen. Tärkein maatumista nopeuttava kasvi on järviruoko, jonka yhdyskunnat peittävät lähes koko pengertien eteläpuolisen lahden.

Kesän 1991 mittauksissa järviruokokasvuston tiheys vaihteli 105 - 264 yksilöä neliömetrillä välillä (Taulukko 1.2.). Rehevöityneessä ympäristössä ruokojen kasvu on hyvin tehokasta. Versoston keskipituus vaihtelee 190 - 280 cm välillä. Maanpäällistä versostobiomassaa kasvusto tuottaa yhden kasvukauden aikana 1.0 - 2.6 kiloa kuiva-ainetta neliömetrillä.

Keskimääräistä suurempi tuotanto yhdessä heikentyneiden

virtausten kanssa aiheuttaa sen, ettei tuotettu kasvimassa kulkeudu pois kasvupaikoilta. Tämän seurauksena on orgaanisen aineksen erittäin tehokas kerrostuminen lahteen (Taulukko 1.3.), mikä puolestaan nopeuttaa luonnollista mataloitumiskehitystä merkittävästi.

Taulukko 1.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Atun pengertien varrella kesällä 1991.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	68	105	191	995
2	43	117	229	1761
3	93	198	256	2372
4	61	264	278	2677
K	40	142	209	1253

Taulukko 1.3. Atun pengertien eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1991.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	9.8 %	0.74
2	12.5 %	0.38
3	28.7 %	0.27
4	42.7 %	0.17
5 (avoin ranta)	2.0 %	0.89
K	21.0 %	0.26

Tulosten tarkastelua

Pengertien eteläpuolella kasvava järviruokoyhdyskunta on erittäin suuri "syyllinen" lahden nopeaan mataloitumiseen. Suurimmillaan yli 2.5 kilon kuiva-ainetuotanto yhden kasvukauden aikana edustaa

todellista huippua Suomen luonnossa. Suljetussa lahdessa tuotettu orgaaninen massa kerrostuu kokonaisuudessaan syntypaikoilleen, mikä nopeuttaa rantavyöhykkeen luontaista maatumista merkittävästi.

Pengertie nopeuttaa lahden maatumista tehostamalla myös muualla tuotetun kasvimassan sedimentaatiota. Varsinkin syysmyrskyjen kuljettamaa ruoko- ja rakkolevämassaa kertyy penkereen rajaamaan lahten suuria määriä (Kuva 2).



Kuva 2. Tiepenger tehostaa ajelehtivan kasvimassan kerrostumista penkereen rajaamaan lahteen.

Tiheimpien ruokokasvustojen pohjasedimenteistä lähes puolet on orgaanista ainesta, valtaosin järviruo'osta syntyvää turvetta. Voimakas eloperäisen aineksen kerrostuminen on paitsi maatumiskehitystä nopeuttava tekijä myös ekologinen säätelytekijä. Varsinkin loppukesällä voimakkaan biologisen hajotuksen seurauksena pohjaan ja pohjan läheiseen vesikerrokseen syntyy hapen vajausta. Kesällä 1991 havaittiin täydellinen happikato näytepisteissä 3 ja 4. Hapen väheneminen heikentää vesieläinten menestymisen mahdollisuuksia.

Täydellinen happikato tuhoaa mm. pohjaeläimistön ja tekee pohjista soveltumattomia kalojen kutualustoiksi.

Turun vesi- ja ympäristöpiiri on lausunnossaan puoltanut virtausaukkojen rakentamista. Suunnitelman mukaan penkereeseen rakennettaisiin Kanungrundenin saaren itäpuolelle aaltopeltinen putkirumpu. Lausunnon mukaan 4.5 metrin rumpu riittäisi parantamaan virtauksia ja estämään rehevöitymis- ja mataloitumiskehitystä. Vesi- ja ympäristöpiiri arvioi lisäksi, että vedenvaihdon tehostaminen edellyttää virtausaukon lisäksi väylän ruoppaamista virtausaukolta lahden keskiselle avovesialueelle.

Atun pengertien aiheuttama maatuminen on edennyt jo niin pitkälle, ettei suunniteltu virtausrumpu yksinään pystyisi terveydyttämään vesialuetta ja pysäyttämään nopeaa mataloitumista. Mikäli suunniteltu 4.5-metrinen rumpu rakennetaan ja virtausaukkoon ruopataan väylä lahden keskiosasta, penkereen läheisen veden happipitoisuus varmasti nousee.



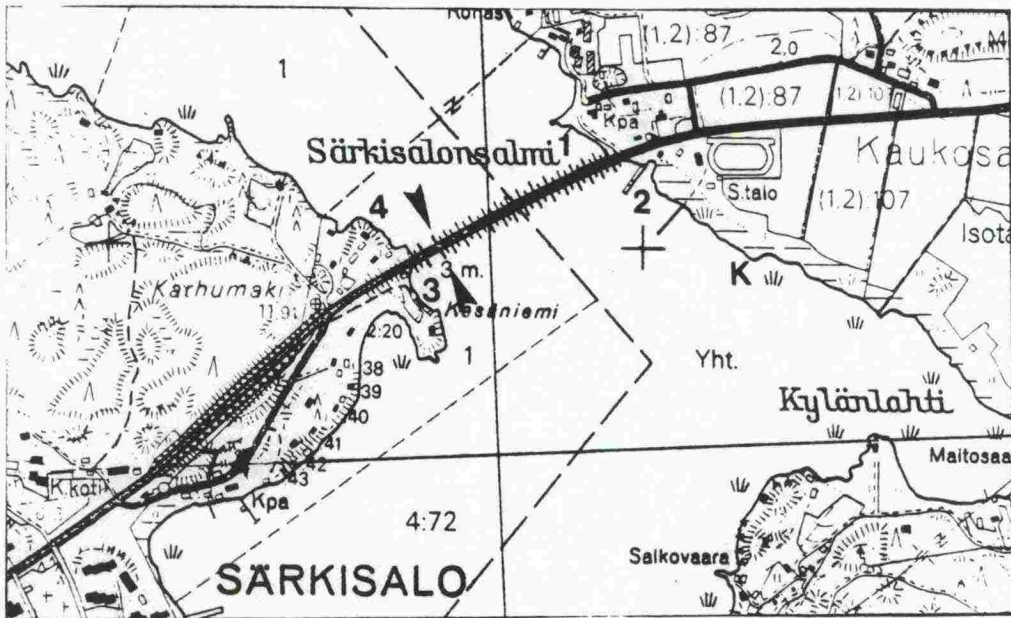
Kuva 3. Virtausaukon rakentamisesta aiheutuva veden vaihto ei heikennä yhtenäisiä järviruokokasvustoja. Maatuminen saadaan hidastumaan ainoastaan ruoppaamalla kasvustot koko lahden keskiosasta.

Pohjan läheisten vesimassojen tilan paraneminen tervehdyttää eläimistöä, mutta alueelle vakiintuneeseen ruokokasvustoon tehostuvilla virtauksilla ei olisi vaikutusta. Rehevöityneen vesialueen kunnostaminen edellyttää, että nykyiset yhtenäiset järviruokoyhdyskunnat on ruopattava kokonaan pois.

(2) Särkisalonsalmen pengertie; Särkisalo

Särkisalonsalmeen 1960-luvun alussa rakennettu pengertie (Kuva 4) erottaa nykyisin kaksi veden laadun suhteen toisistaan poikkeavaa vesimassaa. Turun vesi- ja ympäristöpiiri ja Lounais-Suomen vesiensuojelu-yhdistys ovat seurannoissaan todenneet, että pengertien pohjoispuoliset vedet ovat rehevämpiä kuin penkereen eteläpuolella olevat vedet.

Ulappa-alueiden ravinne- ja tuotantotutkimuksista ei voi tehdä johtopäätöksiä rantavyöhykkeen kasvillisuusyhdistuskuntien ekologiasta tai rehevyysasteesta, koska varsinkin kookkaat rantavyöhykkeen ilmaversoiset kasvit ottavat ravinteensa pohjakerrostuksista, joiden määrään ja laatuun kasvustot itse vaikuttavat.



Kuva 4. Särkisalonsalmen pengertie ja kesän 1991 tutkimuksen näytealueet.

Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella

1960-luvun alussa rakennetun Särkisalons pengertien eteläpuolisen Kylänlahden ruokasvuston suojassa kasvoi kaksi veden rehevöitymisen selvää osoittajaa, karvalehti ja isolimaska. Molemmat lajit ovat kulttuurieutrofian eli ihmisen vesistöjä rehevöittävän toiminnan ilmentäjiä. Sekä karvalehti että isolimaska ovat irtokellujia, jotka ottavat ravinteensa suoraan vedestä. Yleensä lajeja tavataan maatilatalouden tai jätevesien rehevöittämissä vesistöissä. Särkisalons tiepenger ei luonnollisesti vaikuta suoraan vedessä olevien ravinteiden määrään, mutta ravinteiden liikkuvuuteen ja kerrostumiseen sillä on ratkaiseva vaikutus. Pengertie parantaa runsasravinteisuutta vaativien lajien elinoloja estämällä merenrannikon normaalit virtailut.

Rehevöitymistä karttavana lajina tunnettu rakkolevä menestyy myös lähellä pengertietä. Kasvustot ovat voimakkaampia tien pohjoispuolella Finnarininselän puolella, jossa veden vaihtuvuus on tehokkaampaa. Varsinaisia niukkaravinteisuuden ja puhtaan veden indikaattorilajeja Särkisalons tutkimuspisteestä ei havaittu.

Taulukko 2.1. Lajistoa; Särkisalons penger

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Ahvenvita	+/-	+	+/-
Tähkä-ärviä	+/-	+/-	+/-
Karvalehti	+	+/-	+/-
Isolimaska	+	-	-
Putkilevä	+	-	+
Rakkolevä	-	-	-
Ahdinparta	+/-	-	+/-

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Särkisalons pengertien eteläpuolella sijaitseva Kylänlahti on nopeasti mataloitunut ja maaton viime vuosikymmeninä. Rantakasvillisuus on kiihdyttänyt maatumiskehitystä. Pengertien vaikutuspiirissä tutkitut järviruokokasvustot ovat voimakkaimmillaan juuri tien eteläpuolella (Kuva 4 ja Taulukko 2.2.).

Pengertien pohjoispuoliset kasvustot eivät poikkea alueen muista

rantavyöhykkeen ruo'ikoista (Taulukko 2.2.). Tien eteläpuolella sijaitsevilla tutkimuspisteillä 2 ja 3 ruokobiomassa kerrostuu hyvin tehokkaasti lahden pohjaan kiihdyttäen luontaista maatumisprosessia.

Runsaasta orgaanisen aineksen kerrostumisesta aiheutuu pohjan happitalouden muutos. Näytepisteen 2 sedimentit olivat täysin hapettomia loppukesällä 1991.

Taulukko 2.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Särkisalon pengertien varrella kesällä 1991.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	21	214	210	1438
2	24	265	252	2110
3	18	248	259	2014
4	43	81	229	878
K	36	165	235	1309

Taulukko 2.3. Särkisalon pengertien eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1991.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	17.4 %	0.32
2	31.9 %	0.25
3 (0-5 cm)	26.1 %	0.33
3a (10-15 cm)	2.2 %	1.14
4 (avoin ranta)	4.3 %	1.06
K	28.2 %	0.57

Tulosten tarkastelua

Pengertie on nopeuttanut tien eteläpuolella sijaitsevan Kylänlahden maatumista penkereen itäpäässä, jossa lahti on alunperinkin ollut matala ja pehmeäpohjainen. Penkereen länsipäässä rannat ja pohjan laatu ovat "terveemmät" kuin itäpäässä. Penkereen länsipuolella sijaitseva veneaukko tehostaa veden liikkeitä, minkä ansiosta pohjakerrostumiin ei kasaannu eloperäisestä ainesta. Veneaukon lisäksi pohjan laatuun vaikuttavat rannan syvyysuhteet. Länsiranta on jyrkempi kuin salmen itäinen ranta, joten maatuminen ei olisi yhtä nopeaa täällä, vaikka pengertietä ei lainkaan olisi.

Pengertien vaikutus havaitaan kuitenkin veden liikkeiden estymisestä johtuvana happikatona nimenomaan tien itäpäässä (piste 2), kun länsipuolen yhtä tiiviissä ja runsastuottoisessa kasvustossa (piste 3) pohjakerrostumat olivat happipitoisia myös kesän kuumimpina aikoina.

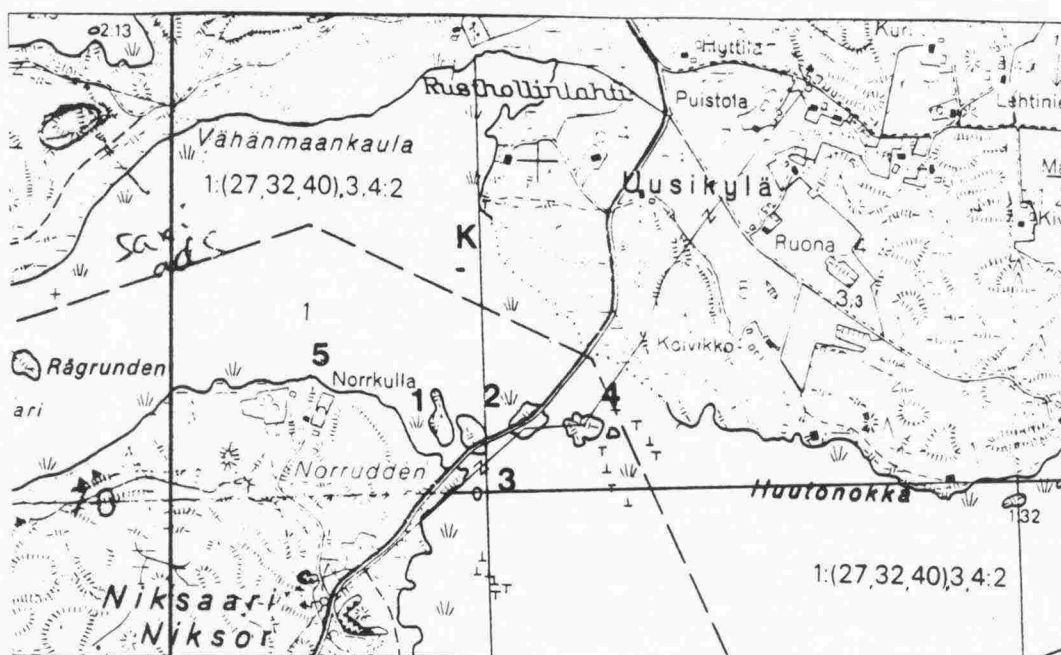
Pengertien puhkaiseminen uudella, tien itäpäähän sijoitettavalla aukolla parantaisi virtauksia ja tervehdyttäisi rannan läheisten vesialueiden happitilannetta. Penkereen eri puolilla olevien vesimassojen ravinnepitoisuuksien erot eivät ole niin suuret, että veden tehostunut virtailu nostaisi penkereen eteläpuolisen merialueen ravinnepitoisuuksia merkittävästi. Vesimassojen sekoittuminen kohottaisi ehkä ulappa-alueen kasviplankton tuotantoa penkereen eteläpuolella, mutta rantavyöhykkeen suurkasvillisuuden tuotantoon sillä ei olisi ratkaisevaa merkitystä.

Uuden aukon tuomat vaikutukset olisivat pääasiassa ekologisia, meren eliöyhteisöä hyödyttäviä. Itäisen aukon rakentaminen hidastaisi ruokoyhdyskunnan edelleen leviämistä kuljettamalla orgaanista ainesta pois rantavyöhykkeeltä. Nopeaa maatumista aiheuttaviin jo vakiintuneisiin ruokokasvustoihin uudella virtausaukolla ei kuitenkaan olisi vaikutusta.

3. Niksorin paikallistien penger; Särkisalo

Särkisalon pääsaaren eteläpuolella oleva Niksaari on yhteydessä pääsaaren Rusthollinlahden-Huutonokan alueella kiinteällä pengertiellä (Kuva 5), jossa ei ole veden vaihtumista mahdollistavia aukkoja. Tieyhteyden rakentaminen on katkaissut itä-länsi-suuntaiset veden vitailut, mikä on nopeuttanut Nikasaren pohjoispuolela

sijaitsevien vesialueiden rehevöitymistä. Erityisen nopeaa maatuminen on ollut Rusthollinlahdessa.



Kuva 5. Niksorin paikallistien penger ja kesän 1991 näytealueiden sijainti.

Kasvillisuusyhdydiskunnat pengertien varrella

Rusthollinlahden-Huutonokan alue näyttää maisemassa rehevöityneeltä, koska kookkaat järviruokokasvustot levittäytyvät kauas ulappa-alueelle saakka. Vesialue on niin kaukana kuormittavasta jätevesi- ja peltolannoituksesta, ettei suuria eroja luonnontilaisen merenrannikon kasvillisuuteen havaittu (Taulukko 3.1.).

Varsinaisia rehevöitymisen indikaattoreita ei alueella tavattu. Sen sijaan puhdasta ympäristöä vaativat ruskoärviä ja hapsiluikka menestyvät salmessa.

Taulukko 3.1. Lajistoa Niksorin pengertien vaikutuspiirissä

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Ahvenvita	+/-	+	+/-
Tähkä-ärviä	+/-	+/-	+/-
Ruskoärviä	-	-	-
Putkilevä	+	-	+
Rakkolevä	-	-	-
Ahdinparta	+/-	-	+/-
Hapsiluikka	-	-	-

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Pengertien läheltä tutkitut järviruokokasvustot osoittavat vesialueen rehevyyttä ja runsastuottoisuutta. Kookkaimmat ruo'ot ja tuottavimmat kasvustot tavattiin pengertien luoteispuolelta Rushollinlahden suulta (Kuva 1; Taulukko 3.2.). Yli 2.5 kilon versostobiomassan arvo on yli kaksi kertaa suurempi kuin lounaisrannikon normaaliarvo.

Taulukko 3.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Niksorin paikallistien penkereen varrella kesällä 1991.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	20	116	178	1044
2	21	163	287	2476
3	19	181	209	1230
4	20	231	184	1890
K	28	215	218	1436

Taulukko 3.3. Niksorin paikallistien penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1991.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	12.8 %	0.67
2	52.0 %	0.12
3 (0-5 cm)	20.5 %	0.40
3a (10-15 cm)	19.9 %	0.54
4	57.8 %	0.16
5 (avoin ranta)	2.71 %	1.20
K	49.0 %	0.85

Tiepenkereen eteläpäässä (pisteet 1 ja 3) kasvustot ovat pienempiä lounaisrannikolle tyypillisiä. Näissä tutkimuspisteissä pohjan laatu rajoittaa kasvillisuusyhdyskuntien levittäytymistä. Syvyysuhteiltaan ruo'olle sopivat rannat ovat pysyneet kallioisen pohjan ansiosta kasvittomina tai vain harvan versoston yhdyskuntina.

Järviruo'on suurta merkitystä salmen mataloittajana osoittaa tiiviiden kasvillisuusyhdyskuntien pohjan laatu. Orgaanisen aineksen pitoisuus on poikkeuksellisen korkea (max. 52 % Rusthollinlahdessa ja 58 % pengertien kaakkoispuolella pisteessä 4). Orgaanisen aineksen suurtuotanto kerrostuu pääasiassa kasvupaikalleen.

Suuresta biomassan tuotannosta huolimatta alueen veden happitalous on säilynyt hyvänä. Kesän 1991 aikana ei havaittu happikatoja pengertien läheisyydessä.

Tulosten tarkastelua

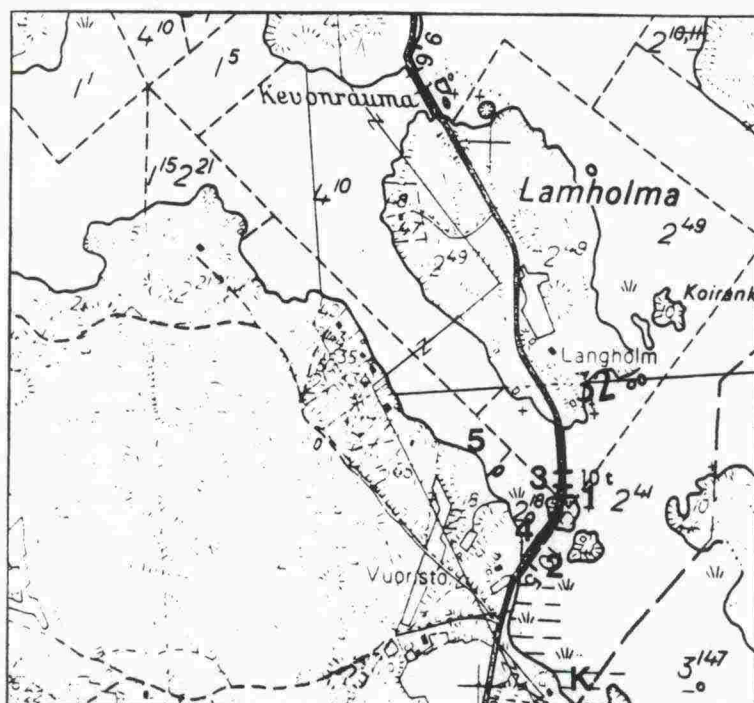
Pengertien rakentaminen ilman veden vaihtuvuutta palvelevia virtausaukkoja on ollut "ekologinen virhe". Veden liikkeiden ja mekaanisen toiminnan jyrkkä heikkeneminen on tehostanut kookkaan rantakasvillisuuden tuotantoa.

Pengertien ylittämä salmi ei ole penkereestä huolimatta päässyt kokonaan umpeutumaan. Penkereeseen rakennatettava virtausaukko estäisi tai ainakin olennaisesti hidastaisi haitalliseksi muuttunutta kasvillisuuden aiheuttamaa maatumista. Vakiintuneita ruokokasvustoja ei saa pois pelkällä virtauksien tehostamisella. Siltarummun lisäksi on kasvillisuusvyöhykkeen ruopattava riittävän syvä väylä, jotta

voidaan taata riittävä veden vaihto ulapalta rannan yhdyskunnille.

4. Lankholmanrauman penger; Kustavi

Kustavin-Pleikilän maantie yhdistää Vikatmaan ja Lamholman saaren kiinteällä penkereellä (Kuva 6), joka estää täysin veden virtailut saarten välisessä salmessa. Itä-länsi -suuntaiset vesiyhteydet on rakennettu Lamholman pohjoiskärkeen Kevonraumaan sekä Vikatmaan eteläkärkeen Siikaraumaan. Lamholman-Vikatmaan välinen penger estää veden vaihtumista niin tehokkaasti, että tienrakentamisessa syntyneet lahdet ovat alkaneet voimakkaasti rehevöityä. Varsinkin Vikatmaan puoleiset rannat ovat nykyisin yhtenäisen järviruokokasvuston vallassa.



Kuva 6. Lankholmanrauman pengertie ja kesän 1991 näytealueiden sijainti.

Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella

Voimakkaista ruokokasvustoista huolimatta Lankholmanrauman pengertien vesialue on lounaisrannikon matalille merenlahdille tyypillinen. Erityisiä rehevöitymisen, etenkin kulttuurieutrofian osoittajakasveja ei paikalla tavata. Pehmeän orgaanisen lietteen kerrostuminen on ehkä lisännyt ahvenvidan tuotantoa, mutta merkittäviä muutoksia luonnontilaan ei ole havaittavissa.

Puhtaan vesialueen osoittajalajeista Lankholmanrauman pengertien tuntumassa tavataan ruskoärviä, hapsiluikka ja rakkolevä. Kasvilajiston perusteella tutkittu vesialue on siis "terveessä kunnossa".

Taulukko 4.1. Lajistoa Lankholmanrauman pengertien vaikutuspiirissä

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Ahvenvita	+/-	+	+/-
Tähkä-ärviä	+/-	+/-	+/-
Ruskoärviä	-	-	-
Putkilevä	+	-	+
Rakkolevä	-	-	-
Ahdinparta	+/-	-	+/-
Hapsiluikka	-	-	-

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Tiepenkereen sulkemat lahdet ovat tien molemmin puolin järviruokokasvustojen valtaamia. Varsinkin penkereen pohjoispuoliset kasvillisuusyhdykunnat ovat voimakkaita ja runsastuottoisia (Taulukko 4.2.; Kuva 6). Noin kahden kilon kuiva-ainetuotanto neliömetriä kohti (max. 2.1 kg pisteessä 4) johtaa suljetussa lahdessa orgaanisen turpeen kerrostumiseen.

Taulukko 4.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Lankholmanrauman penkereen varrella kesällä 1991.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	30	225	181	1643
2	39	217	212	1209
3	46	202	223	1765
4	33	211	276	2118
K	31	216	230	1643

Taulukko 4.3. Lankholmanrauman penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1991.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	9.3 %	0.70
2	11.0 %	0.61
3	34.1 %	0.29
4	40.7 %	0.18
5 (avoin ranta)	9.9 %	0.82
K	42.8 %	0.33

Tien pohjoispuolelle kertyy paitsi kasvupaikoilleen maatuvaa ruokoturvetta myös ajelehtivaa kasvimassaa (Kuva 7). Orgaanisen aineksen kerrostuminen johtaa vakavaan hapen vajaukseen kasvukauden lopulla. Kesän 1991 mittauksissa havaittiin täydellinen happikato näytepisteissä 3 ja 4.



Kuva 7. Lankholmanrauman pengertie estää ajelehtivan kasvimassan liikkeit nopeuttaen tien sulkeman lahden mataloitumista.

Tulosten tarkastelua

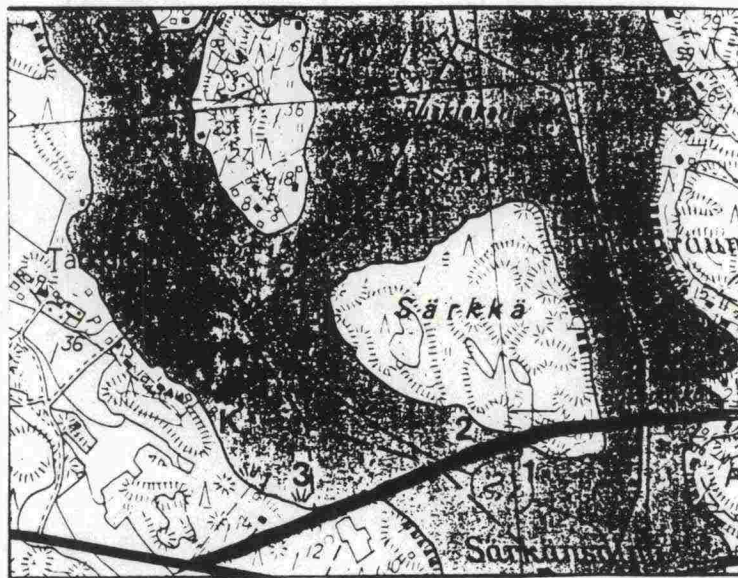
Pengertien katkaiseminen virtausaukolla parantaisi varsinkin Vikatmaan saaren puoleisen rannan ekologista tilaa tuomalla pohjan läheisiin vesikerrokseen happipitoista vettä. Vakiintuneet ruokokasvustot ovat niin tiheitä ja voimakkaita, että virtausaukko ja siihen liittyvä uoma parantaisivat vesialueen tilaa paikallisesti.

Penkereen eteläpuolella maatumista nopeuttaa kävelytieksi pengerretty valli, joka estää allokon ja jään kuluttavaa toimintaa. Mikäli lahden tilaa halutaan parantaa, kaikki rantaviivan ulkopuolella sijaistavat veden liikkeitä estävät vallit on poistettava.

5. Särkänsalmen pengeri; Merimasku

Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella

Särkänsalmen tiepenger (Kuva 8) on rantakasvillisuudelle "luonnottomampi" kasvuympäristö kuin muut käsillä olevassa selvityksessä analysoidut tiepenkereet. Penkereen jyrkkyys ja pelkästään suurista lohkeista muodostuva ranta estävät korkeampien vesikasvien esiintymisen kokonaan. Merenrannan putkilokasvillisuus menestyy ulompana penkereestä kuin muilla tutkituilla alueilla. Särkänsalmen tiepenkereen tärkeimmät kasvilajit ovatkin rantakiviin kiinnittyvät rihmamaiset levät.



Kuva 8. Särkänsalmen pengertie ja kesän 1991 näytealueiden sijainti.

Taulukko 5.1. Lajistoa Särkänsalmen pengertien vaikutuspiirissä

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Ahvenvita	+/-	+	+/-
Tähkä-ärviä	+/-	+/-	+/-
Ulpukka	+	+	+/-
Putkilevä	+	-	+
Ahdinparta	+/-	-	+/-

Järviruokokasvustot ja merenpohjan laatu

Varsinaisen tiepenkereen varrella ei kasva yhtenäistä ilmaversois yhdyskuntia. Suurkasvillisuuden puuttumisen syynä on rannan lohkaraisuus ja veden syvyys. Tiepenkereen molemmista päistä voitiin ottaa muiden tutkimuspisteiden kanssa vertailukepoiset kasvillisuusnäytteet.

Särkänsalmen tiepenkereeseen rajoittuvat järviruokokasvustot ovat lounaisrannikon merenlahdille tyypillisiä. Muita tutkittuja yhdyskuntia harvemmat ruo'ikot (tiheys 92 - 145 yksilöä neliömetrillä) ja versojen pienempi yksilökoko tuottavat muiden tutkimuspisteiden ruo'ikkoja alhaisemmat kokonaisbiomassan arvot. Yhden kasvukauden aikana tuotetun maanpäällisen versostobiomassan arvot 0.8 - 1.3 kilon välillä vastaavat lounaisrannikon merenlahtien normaaliarvoja.

Ruokokasvuston "tavanomaisuus" ei kuitenkaan osoita Särkänsalmen olevan muita tutkittuja pengerkohteita luonnontilaisempi tai vähemmän rehevöitynyt. Rannan suurkasvillisuuden tuotantoa rajoittavat veden syvyys ja kivikkoinen pohja.

Pohjan laatu kuvastaa suurkasvillisuuden merkitystä matalan rantavyöhykkeen pohjan laadun säätelijänä. Orgaanisen aineksen pitoisuudet (max. 17 %) ovat Särkänsalmen kasvustoissa selvästi alhaisemat kuin muolla tutkituilla pengertieosuuksilla (Taulukko 5.3.). Matalan rantavyöhykkeen pohjakerrostumat pysyvät happipitoisina myös kuumina loppukesän kuukausina.

Taulukko 5.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Särkänsalmen penkereen varrella kesällä 1991.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	57	92	218	847
2	32	145	231	1209
3	36	132	242	1324
K	29	119	235	1198

Taulukko 5.3. Särkänsalmen penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1991.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	12.6 %	0.58
2	14.1 %	0.51
3	10.9 %	0.30
4 (avoin ranta)	7.1 %	0.80
K	17.3 %	0.41

Rihmaleväkasvustot

Särkänsalmessa kasvavat rihmamaisten levien yhdyskunnat osoittavat tiepenkereen rajaamien keinotekoisten lahtien rehevyyttä ja runsastuottoisuutta. Penkereen valtalajeja ovat putkilevä ja ahdinparta. Kesällä 1991 mitattiin rihmalevien biomassan tuotantoa penkereen etelä- ja pohjoispuolelta. Rantamaisemaa dominoivat levämassat kuvastavat rehevöitymistä, joka ei voi johtua pelkästään tiepenkereen aiheuttamista muutoksista. Pengertien eteläpuolella sijaitseva kalankasvatuslaitos onkin alueen merkittävin rehevöittävä tekijä.

Paikallista rehevöitymistä osoittaa putkileväkasvustojen biomassa-tuotos. Pengertien eteläpuolella leväkasvustojen maksimibiomassojen

keskiarvo oli 280 grammaa kuiva-ainetta neliömetrillä (vaihteluväli 84 - 465 g/m²). Tiepenkereen pohjoispuolella levämassaa oli selvästi vähemmän, keskimäärin 61 grammaa neliömetrillä (vaihteluväli 21 - 85 g/m²).

Lounaisrannikon ja Saaristomeren alueelle poikkeuksellisen korkeat leväbiomasat kuvastavat vesialueen ravinteisuutta. Kesällä 1990 mitattiin Särkängsalmen putkileväkasvustojen ravinneanalyysissä mitattiin penkereen eteläpuolella elävän kasviaineksen typpipitoisuudeksi 2.6 % ja pohjoispuolella vastaavasti 1.7 %. Levämassan fosforipitoisuudet olivat vastaavasti 0.4 % ja 0.2 % kuivapainosta.

Pelkät ravinnepitoisuudet eivät vielä osoita, mistä rehevöittävä kuormitus on peräisin. Kesällä 1990 Särkängsalmissa mitattiin myös levämassojen sinkkipitoisuuksia. Tien eteläpuolella sinkkipitoisuus oli keskimäärin 46 mikrogrammaa grammassa, kun pohjoispuolella arvo jäi 16 mikrogrammaan. Ravinne- ja hivenainesuhteet osoittavat rehevöittävän kuormituksen tulevan tiepenkereen eteläpuolella sijaitsevalta kalanviljelylaitokselta (vrt. Aulio 1986).

Tulosten tarkastelua

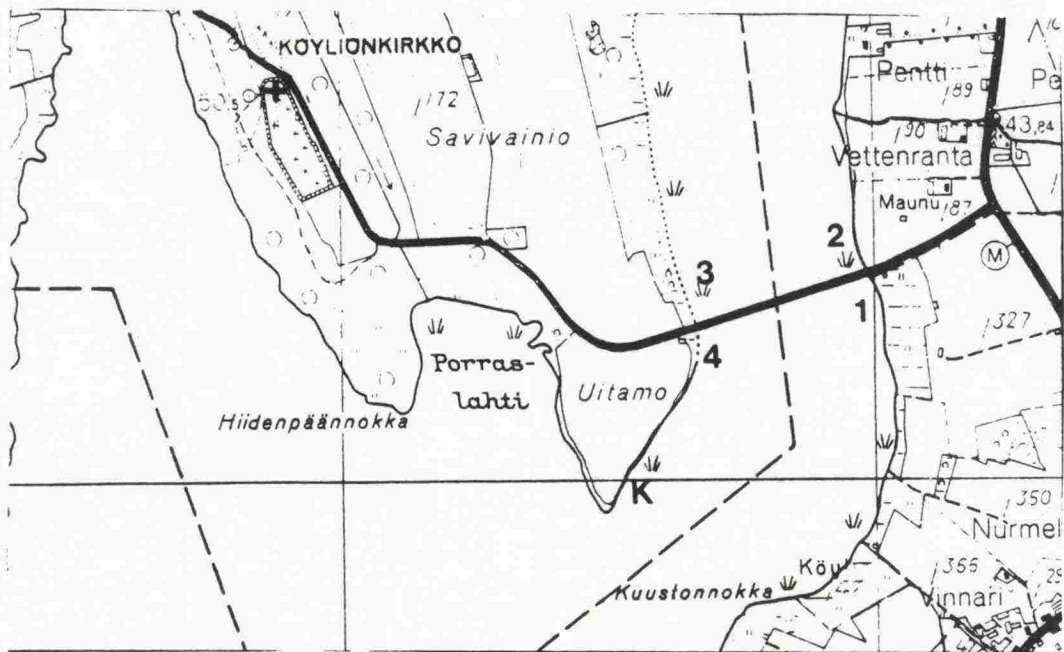
Särkängsalmen pengertien rajoittamat suljetut lahdet ovat selvästi rehevöityneitä. Syynä muutokseen ovat pengertien ohella paikallinen, kalankasvatuslaitokselta tulva kuormitus. Verkkoaltaiden alle kerrostunut pehmeä ja erittäin ravinnepitoinen liete "ruokkii" vesi- ja rantakasveja kasvukaudesta toiseen, vaikka itse kalanviljelytoiminta päättyisikin.

Pengertien katkaiseminen virtausaukolla muuttaisi Särkängsalmen nykyisiä olosuhteita merkittävästi. Tehostunut veden vaihto poistaisi pohjan läheisten vesimassojen happivajauksen ja palauttaisi muutaman vuoden kuluessa merenpohjan eläinyhteisön normaaliksi.

Pengertien eteläpuolisen lahteen kerrostunut kalanviljelylaitoksen liete lähtisi veden liikkeiden tehostuessa kulkeutumaan vallitsevan virtaussuunnan mukaisesti. Eliökunnalle ja rantojen monikäytön kannalta hyvin haitallinen liete voisi ajautua myös penkereen pohjoispuolella, jossa vesialue on nykyisin vain lievästi rehevöitynyt. Haitat olisivat kuitenkin pahimmillaankin ohimeneviä. Penkereen Virtausaukon rakentaminen Särkäng ja Merimaskun väliseen penkereeseen siten Särkängsalmen luonnonoloja ehdottomasti parantava ratkaisu.

6. Köyliön pengertie ja virtausaukko; Köyliö

Köyliönjärvi tunnetaan erittäin rehevänä vesialtaana, jossa käyttöarvoa alentavat sinileväesiintymät ja happikadot ovat jokavuotisia. Lyhyt itä-länsi -suuntainen tiepenger Kirkkosaaren ja järven itärannan välillä (Kuva 9) ei varmasti ole pahin Köyliönjärven tilaa heikentävä ihmisen aikaansaannos. Pengertie estää kuitenkin veden luonnollisen virtailun järven eri altaiden välillä niin tehokkaasti, että rantojen maatumista edistävä suurkasvillisuus menestyy tien läheisyydessä paremmin kuin järven muissa osissa.



Kuva 9. Köyliönjärven pengertie ja kesän 1991 tutkimuksen näytealueiden sijainti.

Kasvillisuusyhdykunnat pengertien varrella

Köyliönjärven pengertien tuntumassa tavattava vesikasvilajisto osoittaa alueen voimakasta rehevöitymistä. Ihmistoiminnan osoittajina pidetyistä "superrehevyyden" ilmentäjistä penkereen tuntumassa kasvavat vesirutto, karvalehti, isolimaska ja kiehkuraärviä. Myös rantavyöhykkeen ilmaversoiskasvustot osoittavat huomattavasti keskimääräistä runsasravinteisempaa alustaa. Osmankäämit ja ratamosarpio ovat liejupohjaisten, runsasravinteisen alustan tyyppikasveja.

Niukkatuottoisuuden ja ns. puhtaan veden indikaattorilajeja ei penkereen tuntumassa tavata lainkaan.

Tiepenger lisää tutkimusalueen rehevyyttä lisäämällä ravinnepitoisen lieteen kerrostumista rantavyöhykkeelle. Penger ei kuitenkaan ole ainoa rehevöitymistä ja rantojen umpeenkasvua edistävä tekijä. Köyliönjärvi on pahoin rehevöitynyt järveä ympäröivän tehomaaatalouden ja järven eteläosassa sijaitsevan kalanviljelylaitoksen ravinnekuormituksesta.

Taulukko 6.1. Lajistoa Köyliön pengertien vaikutuspiirissä

	Suhtautuminen rehevöitymiseen	Suhtautuminen pohjan liettymiseen	Suhtautuminen happipitoisuuden alenemiseen
Vesirutto	+	+	+/-
Karvalehti	+	+/-	+/-
Ahvenvita	+/-	+	+/-
Uistinvita	+/-	+	+/-
Heinävita	(+)	+/-	+/-
Kiehkuraarviä	+	+	+/-
Ulpukka	+	+	+/-
Isolimaska	+	+/-	+/-
Pikkulimaska	+	+/-	+/-
Leveäosmankäämi	+	+	+/-
Kapeaosmankäämi	+	+	+/-
Järvikorte	+/-	+/-	+/-
Ratamosarpio	+	+	+/-

Järviruokokasvustot ja pohjan laatu

Köyliönjärven pengertien tuntumassa kasvavat järviruokoyhdyskunnat ovat erittäin tiiviitä ja runsastuottoisia. Hyvin tiheät (198 - 263 yksilöä neliömetrillä) ja kookkaat (2 - 2.6 m) ruokokasvustot ylittävät poikkeuksellisiin tuotantoarvoihin.

Suurimmillaan (max. 3.1 kg/m²) Köyliönjärven ruo'ikoiden versostobiomassat ylittävät normaalina pidetyt suomalaisten järvien tausta-arvot kaksin-nelinkertaisesti.

Taulukko 6.2. Järviruokokasvustojen tiheys, versoston pituus ja maanpäällinen biomassa Köyliön penkereen varrella kesällä 1991.

Näyte N:o	Veden syvyys (cm)	Versoston tiheys (kpl/m ²)	Versojen keskipituus (cm)	Maanpäällinen biomassa (g kuivap./m ²)
1	13	223	281	2874
2	16	263	267	2641
3	15	241	279	2256
4 (lautta)	(0)	154	211	1432
K	20	198	288	3102

Taulukko 6.3. Köyliön penkereen eri puolilta kerättyjen sedimenttinäytteiden koostumus kesällä 1991.

Näyte N:o	org.aines (%) Hh	kiinteys Hi
1	48.1 %	0.10
2	53.3 %	0.15
3	57.8 %	0.09
4	9.8 %	0.44
K	58.9 %	0.07

Suuri orgaanisen aineksen tuotanto edistää rantojen umpeenkasvua merkittävästi. Ruokokasvustojen pohjasedimentit ovat pääasiassa orgaanista turvetta (max. 58-59 %; vrt. Taulukko 6.3.), mikä nopeuttaa rantojen maatumista. Samalla ruokoyhdyskunta leviää koko ajajn ulappaa kohti. Varsinkin pengertien lounaispuolella ruo'ikko kasvattaa pinnanmyötäistä juurakkolauttaa, joka muuttaa rantavyöhykkeen olosuhteet täysin ruokoyhdyskunnan itsensä säätelemiksi.

Runsaan orgaanisen aineksen hajoaminen kuluttaa happea. Pengertien tuntumassa veden liikkeet ovat estyneet, joten happitäydennystä ei tule kasvustojen ulkopuolelta. Kesän 1991 lopulla

havaittiinkin Köyliönjärven pengertien rajoittamissa järviruokasvustoissa (paitsi kelluvan lautan alla) täydellinen happikato.

Tulosten tarkastelua

Köyliönjärven tila on luokiteltava käyttökelpoisuudeltaan huonoksi (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Rehevöitymistä voidaan parhaiten säädellä estämällä maalta tulevaa hajakuormitusta. Pelloilta ja kalanviljelylaitokselta tulevan ravinnekuorman vähentäminen onkin järven suojeluohjelman painopisteitä.

Pengertien puhkaiseminen virtausaukolla parantaisi varmasti veden ja rantavyöhykkeen tilaa paikallisesti. Veden liikkeiden tehostumisen ensimmäiseksi tuloksia tuova parannus olisi pohjakerrostumien happitaseen palauttaminen normaaliksi. Ekologisesti pengertien puhkaus olisi siten edullinen toimenpide.

Virtausten tehostuminen hidastaisi orgaanisen aineksen kerrostumista ruokokasvustoihin. Vakiintuneiden yhdyskuntien tuotantoon virtausaukolla ei sen sijaan olisi vaikutusta. Ruokoyhdyskunnan pinnamyötäinen leviäminen hidastuisi tai loppuisi veden ja jään liikkeiden tehostuessa. Pengertien katkaiseminen ja veden liikkuvuutta lisäävän virtausaukon rakentaminen parantaisi Köyliönjärven tilaa paikallisesti tien tuntumassa.

7. Kirjallisuus

- Anttonen-Heikkilä, K. (1983): Säännöstelyn vaikutuksista Oulujärven vesi- ja rantakasvillisuuteen. - Vesihallitus, Tiedotus 231: 1-89.
- Aulio, K. (1979): Mataloitumisen vaikutus kasvillisuuteen Kokemäenjoen suistoalueella. - Turun yliopiston Maantieteen laitoksen julkaisu 90: 1-30.
- Aulio, K. (1986): Kirjoloheen verkkoallaskasvatuksen ympäristövaikutusten seuranta: Rihmalevien ja pohjasedimenttien kemialliset ominaisuudet. - Tutkimusraportti, 11 s. Turun yliopiston Biologian laitos sekä Turun vesi- ja ympäristöpiiri.
- Aulio, K. & Aulio, H. (1989): Rantavyöhykkeen suurkasvillisuus maatumisen edistäjänä sekä Pihlavanlahden pohjan laadun muuttajana. - Esitutkimus Lampaluodon-Ahlaisten paikallistien ympäristövaikutuksista (K.Aulio, H.Aulio, & J.Lampolahti; Turun tie- ja vesirakennuspiiri; Turun yliopiston biologian laitos ; Porin kaupungin ympäristönsuojelulautakunta). - Porin ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 2/89: 42-66.

- Häkkilä, S., Aulio, K. & Saario, J. (1986): Raisonlahden yleiskuvaus. - Turun yliopiston Biologian laitoksen julkaisuja 11: 7-13.
- Lampolahti, J. (1989): Jokivesien sekoittuminen murtoveteen Porin rannikolla . Vesikasvilajiston tarkastelu. Esitutkimus Lampaluodon-Ahlaisten paikallistien ympäristövaikutuksista (K.Aulio, H.Aulio, & J.Lampolahti; Turun tie- ja vesirakennuspiiri; Turun yliopiston biologian laitos; Porin kaupungin ympäristön-suojelulautakunta). - Porin ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 2/89: 2-41 + liitteet.
- Niemi, R.A. (1990): Makrofyytit vesien tilan seurannassa. - Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, Sarja A 53: 1-95.
- Toivonen, H. (1984): Makrofyyttien käyttökelpoisuus vesien tilan seurannassa. - Luonnon Tutkija 88: 92-95.
- Vesi- ja ympäristöhallitus (1988): Vesistöjen laadullisen käyttökelpoisuuden luokittaminen. - Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja Sarja A 20.
- Ympäristöministeriö (1988): Ympäristövaikutusten arviointi tiensuunnittelussa. - Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto, Sarja C 36/1988: 1-31.